Public Works Canada
Travaux publics Canada

Architectural and Engineering Services
Services d'architecture et de génie

Building Performance Evaluation Series

Thermographic Inspections of Building Enclosures

Document D38

Canada

Building Performance Evaluation Series

Thermographic Inspections of Building Enclosures

Document D38

AES 1-4:86-47

March 1988

The Minister of Public Works makes no representation or warranty, express or implied, with respect to this publication or the programs or information described in this publication, their quality, merchantability, or fitness for any particular purpose, or their adequacy to produce any particular result. In no event shall the Minister or Her Majesty the Queen in right of Canada, Her employees, servants or agents be legally liable to any person or persons for any damage, whether direct, indirect or consequential, resulting from the use of said publication or the programs or the information contained therein.

Published by Architectural and Engineering Services
Public Works Canada

Public Works Canada / Travaux publics Canada

DOCUMENT DATA

1. Document Title THERMOGRAPHIC INSPECTION OF BUILDING ENCLOSURES	2. Control Number AES/SAG 1-4:86-47
	3. Date March 1988
4. Author(s) A. Colantonio	5. Consultant's Ref. No.
6. Project Manager	7. Discipline Series No. D38
8. Preparation Agency and Address Building Performance Division, Public Works Canada Room C-456, Sir Charles Tupper Building Riverside Drive, Ottawa, Ontario, K1A 0M2 Telephone: (613) 998-7830	9. Document Type Guideline
	10. No. of Pages 52
11. Sponsoring Agency and Address D.C. and R.T. Appropriated Programs Accommodation Branch	12. PWC File No. A4270-16
	13. PWC Project No. 602055
14. Supplementary Notes Questions and comments should be directed to the preparation agency, in 8 above.	15. SSC Publication No.
	16. ISBN

17. Abstract

This document describes the use of thermographic technology to examine the heat loss of a building enclosure, to identify damaged areas and determine the causes and extent of enclosure deterioration. Three stages of investigation have been developed by PWC: 1) the thermographic level locates thermal anomalies; 2) the thermologic identifies problems and recommends remedial action; 3) the building science level determines the cause and effect of building problems and provides recommendations for correction. The equipment and methods to be used are described in detail.

18. Distribution Statement Copies are available from: Documentation Centre Architectural & Engineering Services Public Works Canada Sir Charles Tupper Bldg., Riverside Dr. Ottawa, Ontario K1A 0M2	19. Keywords	
	20. Documentation Centre Catalogue No. BP D38b	21. Price

TABLE OF CONTENTS

1.	**INTRODUCTION**	1
1.1	Purpose and Objectives	1
1.2	Background Information	2
1.2.1	Theory of Infrared Radiation	3
1.2.2	Theory of Heat Transfer	3
1.2.3	Theory of Moisture Migration	3
1.2.4	Factors Influencing Pressure Differentials Through Enclosures	4
1.2.5	The Nature of Building Materials	4
1.2.6	Types of Infrared Imaging Systems	4
1.2.7	Thermographic Equipment Specifications and Evaluation	5
2.	**TERMS OF REFERENCE**	7
2.1	General Framework	7
2.1.1	Levels of Thermographic Inspections	7
2.1.2	Modes of Field Operation	7
2.1.3	Phases of Thermographic Investigations	8
2.2	Limitations of Evaluation Techniques	8
2.2.1	Preferred Environmental Conditions	9
3.	**METHODOLOGIES**	11
3.1	Stage I – Preliminary Assessment (Introduction)	11
3.1.1	Description of Techniques	11
3.1.2	Detailed Procedure	11
3.1.3	Assessment	12
3.1.4	Resource Allocation and Timing	12
3.1.5	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	12
3.2	Stage II – Simple Measurement Techniques	12
3.2.1	Description of Techniques	13
3.2.2	Equipment	13
3.2.3	Detailed Procedure	14
3.2.4	Assessment	15
3.2.5	Resource Allocation and Timing	16
3.2.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	16
3.3	Stage III – Specialized In-depth Monitoring	16
3.3.1	Description of Techniques	17
3.3.2	Equipment	18
3.3.3	Detailed Procedure	19

3.3.4	Assessment	22
3.3.5	Resource Allocation and Timing	24
3.3.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	25
4.	**REFERENCES**	27
5.	**APPENDICES**	29
5.1	Standard Terms and Units of Measurement	29
5.2	Applicable Authorities and Regulations	33
5.3	Bibliography	34
5.4	Building Performance Evaluation Document List	52

LIST OF TABLES

1.2.1	Required Instrument Sensitivity for Interior Surveys (MRTD)	6

1. INTRODUCTION

The use of thermography in the diagnosis of heat loss and building enclosure degradation is a relatively new application of this technology. Infrared technology has been in a continual state of development for approximately 40 years. The first infrared systems were initially developed for military activities and later used for medical purposes. The development of the first commercial thermographic equipment occurred in the mid-sixties in Sweden. These systems were not made portable until the mid seventies. Infrared equipment has only been used for detecting heat loss from building enclosures for the past 16 years.

In Canada, thermographic equipment was first used for detecting heat loss from building enclosures in 1976. Since 1978, Public Works Canada (PWC) has been on the leading edge of the use and development of thermographic equipment for building enclosure diagnostics. PWC has also been instrumental in developing infrared techniques to document air circulation patterns in office buildings.

Thermographic inspections have been carried out to detect failures in electrical connections, power distribution systems, and switch gear equipment. These uses are not dealt with in this document. PWC has carried out inspections of conventional built-up roofing using thermography. This technique is widely used in industry and government today. D41 – Roofing Systems Evaluation is concerned with the methods of inspecting roofs.

1.1 PURPOSE AND OBJECTIVES

The use of thermographic equipment for enclosure diagnostics was developed to help architects, engineers, building scientists and managers accurately identify, in a non destructive manner, potential problem areas within building enclosures. These enclosure problems lead to increased energy and maintenance costs if left unattended. Thermography makes the detection of potential building envelope problems possible, before the appearance of visible signs of deterioration.

Thermographic inspections are conducted during all life cycle phases of a building. Quality control inspections are carried out during the heating season at late stages of construction, prior to the building commissioning stage. They focus on construction workmanship and integrity of envelope design. Results relate to design brief requirements and building envelope contract documents.

After commissioning, thermography is used to locate new thermal anomalies and assess deterioration potential in problem areas. The causes of further deterioration are determined by analysis based on building science principles. Thermography is used in older buildings to identify critical enclosure areas requiring retrofit to reduce operating and maintenance cost. Once complete, retrofitted areas can be inspected for quality control purposes.

Thermographic inspections are conducted for one or more of the following reasons:

1. Identify areas of abnormal heat loss from the building enclosure leading to enclosure deterioration.

2. Identify causes of thermal anomalies and determine potential damage.

3. Investigate findings from visual inspections and previously recorded enclosure information.

4. Inspect problem areas identified in past thermographic surveys and determine extent of deterioration. (Preferably done under similar conditions using similar equipment).

5. Verify the effectiveness of retrofits, by the comparison of 'before' and 'after' thermographic inspections.

6. Locate sections that represent typical wall types on which to conduct thermal resistance testing. (Ensure that the chosen locations are on thermally uniform sections of the enclosure).

7. Use mechanically induced and monitored maximum pressure differentials during air leakage testing.

8. Study impact of high pressure differentials on enclosure thermal performance by analyzing thermal patterns around leakage locations. Determine relationship between air leakage thermal patterns and pressure differentials.

9. Determine severity of air leakage through the enclosure at identified problem areas, and relate it to other symptoms of enclosure degradation and occupant complaints.

10. Identify extent of water penetration within conventional built-up roofing insulation.

11. Determine wall performance thermal resistance through means of area weighted averaging and temperature indexing principles.

12. Identify air leakage at roof perimeters and projections due to inadequate air sealing at horizontal/vertical junctions.

1.2 BACKGROUND INFORMATION

Thermographic inspections require a complete knowledge of the inspection equipment and its use, as well as an understanding of the basic theory of infrared radiation. The use of thermography as a tool for building enclosure diagnostics requires a sound understanding of building science principles and in particular the following:

- the theory and mechanisms of heat transfer;
- the theory of moisture migration;
- factors influencing pressure differentials through enclosures;
- the nature of building materials.

1.2.1 Theory of Infrared Radiation

Knowledge of infrared theory will provide camera operators with an understanding of equipment capabilities, appreciation for field factors affecting thermal imagery, and enhance the interpretation of scan results. Section 11 of the Thermovision* 780 Operators' Manual offers an introduction to infrared theory as it relates to inspection practices.

It is important to understand the radiation laws of Planck, Wien and Stefan–Boltzmann; the spectral dependence of emissivity, absorptance, reflectance and transmittance; and the variation of spectral emissivity with wavelength. Interpretation and analysis of thermographic images are based on these principles.

1.2.2 Theory of Heat Transfer

Understanding heat transfer requires knowledge of the following:

- mechanisms of heat flow through all types of enclosures;
- heat flow equations;
- resistance and capacitance coefficients for building materials;
- air film thermal resistance coefficients and their calculations in different enclosure types;
- air film coefficients;
- convection cycles in interstitial air spaces and insulation materials;
- thermal bridging;
- two dimensional heat flow;
- transient and cyclical heat flow modelling;
- thermal lag and amplitude calculations; and
- effects of moisture and air pressure on heat transfer through materials and enclosures.

An understanding of the above topics is necessary for proper analysis of building enclosure anomalies using thermography Refer to Section 4, References for a bibliography related to this subject matter.

1.2.3 Theory of Moisture Migration

Knowledge of the effects of all forms of moisture on building enclosure performance is important when using thermography to analyse causes of enclosure failures. Factors that influence moisture migration, and moisture related degradation of enclosures include:

- vapour pressure and phase change;
- water vapour transmission due to capillary action;
- air pressure;
- gravity;
- kinetic energy and vapour diffusion;

* Thermovision is a trademark of Agema Infrared Systems.

- coefficients of water transmission through building materials;
- vapour transfer through composite sections;
- effects of moisture in materials;
- frost heaving;
- characteristic effects of water on various materials; and
- saturation levels of various materials.

Refer to Section 5.3 for a bibliography related to this subject matter.

1.2.4 Factors Influencing Pressure Differentials Through Enclosures

Pressure differentials across the building enclosure are affected by three factors;

- wind pressures;
- stack effect; and
- mechanical induced interior building pressures.

In Canada, air leakage is the most common cause of enclosure deterioration during the heating season. Air leakage is detected by thermographic equipment when there is a pressure difference between the interior and exterior and a minimum temperature differential of 10°C. This assumes that there are no other heat sources or obstructions that mask the heat loss created by the air leak through the exterior wall or roof. (Curtainwall constructions are one example where the heat loss is masked by material obstruction.) An understanding of the dynamics of pressure differential through the building enclosure is necessary to interpret the severity and significance of air leakage at specific locations. Section 5.3 lists publications that should be referred to for more information on this topic.

1.2.5 The Nature of Building Materials

To better understand the causes of building enclosure deterioration, it is important to have knowledge of the nature of building materials. The physical and chemical laws that explain the existence of these materials are used to determine their performance in relation to the environmental forces to which they are subjected. Given the greater use of man made materials (and their finite tolerances) in today's buildings, the study of failures in modern buildings relies more heavily on scientific explanation than ever before.

1.2.6 Types of Infrared Imaging Systems

There are 7 basic types of infrared imaging systems. These include:

- infrared thermometers (spot radiometers);
- thermal line scanners;
- single–element raster scanners;
- multiple–element raster scanners;
- pyroelectric vidicon instruments;
- forward looking infrared (FLIR) instruments;
- infrared arrays. (presently only available for military purposes).

Infrared thermometers have been used in building inspections for measurement of thermal resistance of building elements and assemblies. Tests have indicated these devices do not give accurate thermal resistance values and cannot be used in assessing the extent of thermal anomalies or to produce an accurate thermal image.

There are two types of line scanners that have been used for building enclosure analysis. One is a hand held version and the other is used in aerial surveys. Each system produces a single straight line scan of an object from which the emitted, transmitted and reflected radiant energies along this line are displayed. The hand held version superimposes the thermal trace over a visual image of the object. The aerial type mapper is mounted on a moving vehicle such as a plane, helicopter, or a van in order to properly record a thermal image.

Single element scanners used in measuring systems operate in both the 3 – 5 micron and 8 – 14 micron range, and use both refractive and reflective scanning systems to produce a two dimensional thermal image. These systems have a temperature resolution of 0.1°C at 30°C and produce between 128 and 256 lines per frame and 100 to 250 pixels or elements per line at scan rates greater than 30 frames per second.

Low cost multiple element scanners use multi–detector arrays in order to reduce the constraint imposed by single element scanners, i.e., the trade off between response time and signal to noise ratio of the detector. Unfortunately multi–array detectors have uniformity limitations due to difficulty in matching the detectors in the array.

Pyroelectric vidicon systems are television camera tubes. The target object is made up of a thin layer of pyroelectric material sensitive to infrared radiation. The object is scanned by a controlled electron beam and the image is reconstructed electronically. There are two major limitations in these systems for building enclosure diagnostics. The first is that the pyroelectric target responds to temperature change only, therefore the scanner must always be moving. The second is the lack of uniformity in the pyroelectric layer which leads to non–uniform spatial response. Some of these systems have 'choppers' that interrupt the thermal image thus eliminating the need to constantly move the scanner. Digital electronic image processing is being worked on to alleviate both of these limitations.

FLIR (forward looking infrared) instruments are high–performance real–time scanners that have excellent spatial and thermal resolution. Temperature resolution is better than 0.5°C and frames contain 525 lines with 400 elements (pixels) per line at 30 frames per second. Fully television compatible, these systems are used for military and surveillance purposes as well as roof inspections.

Infrared arrays consist of two–dimensional infrared arrays. These arrays offer potential for a low cost thermal viewer. However, the problem of matching detectors in the array may lead to spatial uniformity deficiencies. They are not commercially available at this time.

human observers at the sensor display and incorporates the other four parameters. It is based on the observer's ability to see a standard bar pattern when the temperature difference between the pattern and its background is changed.

It is possible to specify the MRTD (minimum resolvable temperature difference) requirement for sensors when the type of detected anomaly is specified in terms of its spatial and temperature characteristics at specific environmental conditions. ASHRAE test standards specify the spatial frequency for the MRTD at 0.5 cycles/cm and .13 cycles/cm. MRTD requirements are then specified as temperature differences produced by various insulation levels for a given interior–exterior temperature difference across the enclosure. They determine the internal–external temperature differential required to observe a thermal anomaly created by two different thermal resistances on either an external or internal surface. Refer to the table below for required scanner sensitivities for interior surveys.

Ti – To	MRTD °C	
°C	RSI 5 / RSI 15	RSI 10 / RSI 15
10	0.5	0.125
20	1.0	0.250
30	1.5	0.375
40	2.0	0.500
50	2.5	0.625

where: Ti = inside temperature
To = outside temperature

TABLE 1.2.1 Required Instrument Sensitivity for Interior Surveys (MRTD)

The highly variable ambient air temperature along with the different exterior air film thermal resistance coefficients cause the MRTD for exterior surveys to differ from those of interior surveys.

2. TERMS OF REFERENCE

2.1 GENERAL FRAMEWORK

Stage II methodology deals with thermographic inspections carried out with simple non-measuring scanners to obtain qualitative results. Stage III deals with thermographic inspections carried out with high resolution measuring scanners to obtain quantitative results.

2.1.1 Levels of Thermographic Investigations

The levels of complexity of thermographic investigations as developed by PWC, consists of the following:

LEVEL 1: **Thermographic**. At this level, thermal anomalies are located and problem mechanisms are interpreted. Both activities produce qualitative results and are performed by a thermographer (a trained IR systems operator with a para-professional knowledge of building science).

LEVEL 2: **Thermologic**. At this level, the significance of the problem mechanisms to construction is interpreted, and appropriate remedial action is recommended. Both activities produce quantitative results and are performed by a thermologist (an IR systems operator with a professional knowledge of building science).

LEVEL 3: **Building Science**. At this level, the cause and effect of building problems are interpreted. Design recommendations are made to correct existing problems and prevent future ones. All activities produce quantitative results and are performed by a building scientist (a trained IR thermal image interpreter with a specialized knowledge of building science).

2.1.2 Modes of Field Operation

Thermographic inspection procedures consist of three modes of field operation; aerial, ground and interior inspections. Any combination of these are carried out depending on the nature of the building problems, and the client's needs.

FIELD MODE 1: **Aerial**. An aerial survey provides sufficient thermographic data to permit a trained thermographer to make a rapid general assessment of many buildings, and to qualitatively compare thermal conditions of each enclosure. Areas of extreme thermal discrepancy, where subsequent detailed investigation is required, are also identified.

FIELD MODE 2: **Ground**. An exterior ground survey provides more detailed investigation of areas identified in an aerial survey. Building science data may be collected at the same time. This survey includes photographs, pressure differential readings, interior and exterior surface temperatures, relative humidities, wind speeds and direction.

FIELD MODE 3: **Interior**. A detailed survey performed from inside a building provides data necessary to make accurate qualitative and quantitative assessments.

Building investigation instruments are used and physical nature of materials is examined in detail.

2.1.3 Phases of Thermographic Investigations

There are 4 phases in any thermographic investigation:

Phase 1. Development of scope and identification of problem.

Phase 2. Diagnosis of problems and identification of mechanisms of failures (thermographic survey – field modes 1, 2 and 3).

Phase 3. Interpretation of the problem (thermologic survey – field modes 1, 2 and 3).

Phase 4. Opportunities and solutions (thermologic and building science survey – field modes 1, 2 and 3)

2.2 LIMITATIONS OF EVALUATION TECHNIQUES

In the late seventies, PWC tested various types of infrared systems. It was concluded that Thermovision* equipment gave the best overall performance for building investigation purposes. Other equipment did not provide the service range for Canadian climate, or did not have the handling ease, flexibility, accuracy or diversity of use.

The models used in diagnostic field work by PWC include the Thermovision 720, 750 and 782. In addition, the Superviewer has been used along with the Thermovision 782 during aerial investigations. All of these systems produce a real–time monochromatic thermal image on a display monitor.They are linked to video and digital recorders for playback and analysis purposes.

The video recorders used are either standard or modified VHS portable cassette recorders that allow recording and playback of electronic information obtained directly from the Thermovision systems or through a Viewscan Scan Converter.

With the use of Viewscan* Scan Converter and Imagpac* peripherals, digital recordings are obtained in the field and transferred to an office micro computer for analysis and data storage. This eliminates the need for playback and digitization in the office.

Laboratory tests have shown that when using thermographic equipment outdoors for exterior ground investigations, the minimum exterior ambient air temperature in which equipment can be operated is –20°C. At these low temperatures, battery power for both the Thermovisions and the VCR's is greatly limited.

The calibration of thermographic equipment at low temperatures has proven to be very difficult. Tests have shown that calibration curves obtained for equipment at normal room temperatures are altered by as much as 25 to 40% during operation in temperatures around –20°C. At temperatures of –20°C, interior investigations provide more reliable results and should be conducted whenever possible.

* Thermovision is a registered trademark of Agema Infrared Systems.

* Viewscan and Imagpac are trademarks of Viewscan Limited.

Due to the transient nature of building enclosure thermal dynamics, it is extremely difficult to accurately calculate thermal resistances using infrared equipment. Temperature indexing, the principle that allows for calculation of thermal resistances based on known interior and exterior ambient temperatures along with either interior or exterior surface temperature, is only accurate for conditions of steady state (i.e., constant heat flow). This condition rarely occurs in a building enclosure during the heating season.

Exterior cladding designs based on rain screen principles, mask normal conductive, radiative and convective heat flow through the enclosure and make it difficult to identify actual heat loss characteristics of the assembly by means of aerial and exterior ground investigations. Interior investigations are recommended in these circumstances.

To determine the surface temperatures of different materials the correct emissivity value for observed materials must be determined. Where highly reflective material or materials of unknown emissivities are being observed, it is extremely difficult to determine surface temperatures and thermal resistances.

Roof inspections are recommended only for conventional built up roofs with water absorbent insulations under the waterproof membrane. Roofs designed to function as inverted roof membrane assemblies with non-absorbent insulations do not indicate where water penetration is occurring in the roof membrane. Infrared inspections are not recommended for these roof types.

2.2.1 Preferred Environmental Conditions

The following environmental conditions are preferred for reliable thermographic investigations:

1. minimum temperature difference of 10°C between the interior and exterior ambient temperature for a period of 8 hours prior to investigation.
2. variance in the temperature difference between interior and exterior environment not more than 30% for a period of 12 hours prior to the investigation.
3. to direct solar radiation on the the building for a period of approximately 3 hours for light construction such as wood frame with batt insulation, and approximately 8 hours for masonry veneer construction. These times are reduced proportionally with the fading intensity of available sunlight during the afternoon prior to investigation.
4. the surface should not have been wetted by any form of precipitation for at least 12 hours before the investigation. Surfaces wet previous to this should be checked visually to ensure that they are dry.
5. There should be no precipitation of any kind during an aerial or ground investigation.
6. Ideally, winds should be less than 12 km/h (7 mph), however data could be collected during winds up to 25 km/h (15 mph) with appropriate building science knowledge of the wind loading on the building being applied to the results.

7. If inspecting the building for air leakage, it is advised that the the building be positively pressurized for an exterior scan and negatively pressurized for an interior scan.

3. METHODOLOGIES

3.1 STAGE 1 - PRELIMINARY ASSESSMENT

3.1.1 Description of Technique

Prior to thermographic inspection of any building, contract documents (including working drawings, specification, addendums and change orders) of the original building and any retrofits are requested from the client for review and analysis. If construction photos and reports are available, they also are reviewed and analyzed.

This analysis focuses on the mechanisms that affect the performance of the building enclosure as discussed in sections 1.2.2 to 1.2.5 inclusive. When available, reports are reviewed and used to focus thermographic investigations on previously identified enclosure problems as well as suspected new problem areas.

Operation and maintenance information on the performance of the building enclosure are obtained from the building manager and engineer. This information is used to determine how operational conditions affect the severity of identified enclosure problems and vice versa.

The following documents relating to the construction and operation of the building should be reviewed:

- architectural, electrical, and mechanical working drawings;
- architectural, electrical, and mechanical specifications;
- addendums to the original contract documents;
- change orders to the original contract documents;
- construction progress photos; and
- construction progress reports (from architect or project manager).
- prior thermographic reports.

Similar documents that relate to retrofit work after the original construction should also be reviewed.

Walkthrough analysis deals with visual observations using building science principles discussed in sections 1.2.3 and 1.2.4. This level of investigation is carried out in conjunction with thermographic inspections.

In addition, Occupancy and Use Analysis using focused interviews with building managers and engineers is undertaken. Refer to D22 - Focused Interviews for the generic methodology employed at this level.

3.1.2 Detailed Procedure

Analysis of available documents uses the latest in building science knowledge. Drawings are reviewed to determine areas of focus for thermographic inspections and explanation of excessive heat loss. Specifications are reviewed to determine if proper materials were

used in construction and to explain existing failures. Addendums and change orders are reviewed to verify on site construction. Construction progress reports and photos are used to determine how the work was carried out and explains existing failures.

Plan and archive analysis of existing contract documents is carried out in three stages:

- initial investigation and review;
- detailed review after thermographic investigations; and
- detailed analysis for recommendation development.

3.1.3 Assessment

Analysis and assessment of reviewed documents is carried out using the latest building science principles. Refer to the sections 1.2.2 to 1.2.5 for a brief list of these principles.

3.1.4 Resource Allocation and Timing

Plan and archives analysis activities are variable and dependent upon the building under investigation. The following are approximate times required for each activity:

- requests and procurement:	2 – 5 days
- initial review of plans and specs:	2 – 5 days
- in–depth analysis of documents:	5 – 15 days
- recommendation development:	2 – 15 days
- report writing:	2 – 10 days

These analysis activities should be performed by a competent professional architect or engineer, with good knowledge of building sciences knowledge.

3.1.5 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

Analysis of existing documents and building fabric are documented in the thermographic report. It is preferable to devote a separate section to the analysis of the contract documents. This analysis is then related to the findings and conclusions of the thermographic inspections and used in the development of recommendations. Critical plans, sections, and elevations are reproduced for the report. Additional copies of contract documents are retained for future requests and inquiries.

3.2 STAGE II – SIMPLE INSTRUMENT ANALYSIS

The term 'simple instrument' refers to ease of use and portability of equipment in field work. Cost of equipment is not a consideration.

Inspections using simple infrared equipment are limited to a Level 1: Thermographic Study. They are carried out in ground and interior surveys employing Phase 1 and 2 (refer to section 2.1.3).

Thermographic inspections using simple instruments are carried out for preliminary qualitative analysis of building enclosures. Environmental limitations discussed in sections 2.2 and 2.2.1 apply to both ground and interior field studies.

3.2.1 Description of Techniques

The infrared systems that are used in this level of investigation consist of spot radiometers and non-measuring multiple-element mirror scanners. Spot radiometers and digital thermometers with surface probes are used to obtain surface temperatures at specific locations. Thermographic equipment is used to observe thermal heat loss patterns from both building interior and exterior. Environmental conditions are recorded and thermograms of significant thermal anomalies that would require further inspection produced on site.

The interpretation of thermal images is based on numerous assumptions affecting validity of the analysis. Refer to section 3.5 of CGSB Standard 149-GP-2MP, Manual for Thermographic Analysis of Building Enclosures, for a description of thermal anomalies possible from these instruments. Sections 1.2.1 to 1.2.5 deal with building science principles affecting mechanisms of heat loss and thermal patterns. Potential causes for areas of the enclosure exhibiting abnormal heat loss are determined by analysis of thermograms using building science principles.

Visual inspections and analysis of as-built documents are used to substantiate and verify potential causes of building envelope thermal anomalies.

Recommendations address the condition of building envelope relative to thermal efficiency and potential deterioration. They include proposals for further necessary investigation.

3.2.2 Equipment

The infrared instruments that have been used by BPD for this level of investigation include:

- TPT-80 spot radiometer;
- Thermovision 110 Infrared scanner c/w case and rechargeable nickel cadmium batteries; and
- digital thermometer.

The Thermovision 110 is an infrared system that is easily transportable and ideal for use as a preliminary tool to locate gross heat loss through the building enclosure. This system uses a non-measuring, multiple-element mirror scanner. The thermal image is produced by the adjustment of focus, contrast, and brightness controls. Although this instrument produces a thermal image of the surface radiance, apparent black body temperature measurements cannot be made from the information. The images observed are qualitative and cannot be measured unless other instruments (contact digital thermometers or spot radiometers) are used in conjunction with it.

To obtain a hard copy of the thermal image, a Polaroid camera is attached to the Thermovision 110. This system cannot be interfaced with a video recorder.

Spot radiometers are used to measure absolute temperature at specific locations. When used in conjunction with non-measuring infrared instruments, they are useful in

determining actual temperatures at specific locations on thermal images. Calibration requires they be pointed to a surface of known temperature and emissivity, and adjusted so that they provide the correct radiometric temperature of the reference surface.

A spot radiometer is used to measure the equivalent black body temperature of a small surface area. It is small, hand held, light weight and gun shaped. The instrument senses the total infrared radiation over a particular wavelength band from the surface including emitted and reflected radiation. It is calibrated to display apparent radiance temperatures.

Tests done by BPD have shown that spot radiometers as well as thermal imagers do not give accurate thermal resistance values when using temperature indexing principles. Operators that use only these devices to determine the R-values of enclosure assemblies have had difficulty in assessing the size and severity of thermal anomalies in building envelopes.

Other types of non-measuring thermographic equipment commercially available for this level of investigation include:

- Hughes Probeye 664, Hughes Aircraft Company;
- Hughes Probeye 650, Hughes Aircraft Company;
- Secovision 220, SECO Technologies; and
- I.S.I. Videotherm 84, I.S.I. Group;
- Pyro-Electric Vidicon systems, various suppliers.

3.2.3 Detailed Procedure

a) Analysis of As-Built and Previous Inspection Reports

When available, previous reports should be reviewed. These analyses focus thermographic investigations on previously identified enclosure problems and suspected problem areas. If no previous analysis has been carried out, as-built documents, shop drawings, specifications, and all relevant change orders should be analyzed as per Stage I, Preliminary Assessment.

If previous thermographic inspections have been carried out, available thermographic tapes and reports will aid in identification of problem areas. Operation and maintenance information pertaining to performance of the building enclosure is obtained from the building manager and engineer. This information is used to determine how operational conditions contribute to identified enclosure problems.

b) Inspection Procedures

Prior to the investigation, inspect and verify that the equipment is operational. Make any required adjustments and repairs. For detailed information on the inspection, preparation and use of the Thermovision 110, refer to the operator's manual.

At this level of investigation inspections focus on qualitative identification of thermal patterns indicating thermal anomalies due to conduction, convection and radiation. Causes of abnormal heat loss that produce specific thermal patterns include:

- thermal bridging;
- convective cycles in interstitial spaces;
- air leakage through the enclosure;
- moisture patterns due to condensation, water penetration or ice build-up.

Infrared thermal pattern recognition is discussed in section 3.5 of CAN/CGSB 149-GP-2MP, Manual for Thermographic Analysis of Building Enclosures, 1986.

Interior and exterior environmental conditions are monitored during the scan. The data is required to determine relative severity of thermal anomalies. Information includes:

- interior and exterior dry bulb temperature;
- interior and exterior relative humidity; and
- approximate pressure differential through the enclosure during the investigation.

Pressure differential information is gathered by pitot tube anemometers, while dry bulb temperature and relative humidity are obtained with a digital temperature and humidity meter.

Preferred environmental conditions for thermographic inspections are discussed in section 2.2.1. The minimum temperature differential for a survey is approximately 10°C. The exterior temperature should be greater than -20°C if conducting an exterior inspection. The building's heating system should be turned off or to the lowest setting at least 30 minutes before the investigation to minimize the effect of surface-to-air temperature fluctuations caused by the cyclical operation of the building heating systems.

When using spot radiometers, it is suggested that the window shades be drawn to reduce the effect of radiation exchange between exterior window surfaces and interior room surfaces. Surface temperatures of windows are generally not measured with spot radiometers because of the difficulty in adjusting for the emissivity. To more accurately determine the spot temperature being measured, readings are taken as close to the measured surface as possible.

3.2.4 Assessment

The qualitative images produced by non-measuring thermographic equipment indicate the general condition of the enclosure and help to locate areas of abnormal heat loss. Because the image cannot be related to an accurate black body reference, temperature measurement is not possible. This equipment cannot accommodate recording devices. Therefore hard copy images can only be produced by photographic means. Prints are included in inspection reports.

Analysis and determination of heat loss mechanisms are carried out by drawing on visual observations, application of building science principles and reference to thermal images.

Refer to Chapter 3; CAN/CGSB 149–GP–2MP, Manual for Thermographic Analysis of Building Enclosures 1986, for discussion of infrared thermal pattern recognition.

3.2.5 Resource Allocation and Timing

Operation and maintenance of these systems is relatively simple and requires minimal time beyond actual visual wall inspection. Although one person can handle the equipment, a second person should accompany the thermographer, to act as an assistant and take notes during inspection.

Although dependent upon the building size, configuration, complexity and ease of access, a preliminary thermal inspection should not take more than four to ten hours. The production of photos of the thermal images requires additional time and expense. Preparation for an inspection requires approximately 2 to 3 hours. Thermal images are analyzed in the field and at the office. This could become a one or two day activity. Reports, depending on their complexity and scope, require 2 to 10 days to produce.

Generally these surveys are investigative in nature. Findings and conclusions are included in the reports. Specific recommendations are left to more detailed thermographic inspections with measuring systems.

3.2.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

Results and analysis of investigations should be noted and thermograms included in reports. Details obtained from as–built drawings and photos are also used to explain thermal anomalies in the enclosure.

Refer to section 3.5.6. for the format that has been established by BPD for thermographic reports.

The blank data sheets to be used for thermographic inspections with non–measuring devices include:

- building enclosure performance investigation report cover sheet;
- building examination film record sheet; and
- thermographic investigation data sheet.

For more information on these data sheets, refer to section 3.3.6 of this report.

3.3 Stage III – Specialized In–depth Monitoring

Inspections at this stage can be either Level I: Thermographic, Level II: Thermologic, or Level III: Building Science. They may be carried out in all three field modes; aerial, ground and interior, and may employ all four phases of thermographic inspections. Refer to sections 2.1.1, 2.1.2 and 2.1.3.

The type of inspection is determined by environmental and operating conditions affecting the building during investigation. The ease with which the investigation can be carried out on either the interior or the exterior also influences the type of investigation.

For buildings with many closed offices or with obstructed interior surfaces of exterior walls, it is easier to conduct an exterior ground investigation.

The aerial mode of thermographic inspection is cost effective when a number of buildings must be investigated in a short time period, or if an individual building is complex, and access to all exterior surfaces is difficult from the ground. If the building under inspection is crowded by other buildings, aerial surveys may not always obtain the best imaging of side walls. The aerial investigation generally employs helicopters equipped with operable rear doors utilizing single element raster scanners capable of temperature measurement. The environmental limitations discussed in section 2.2 and 2.2.1 apply to all three modes of thermographic investigations.

Airplanes equipped with thermal line scanners are also used for non-measuring thermographic inspections (generally roof inspections only).

3.3.1 Description of Technique

a) Inspection During Air Leakage Tests

While tracer-gas air-leakage testing is being conducted, interior surfaces of enclosure are inspected using infrared scanners. These inspections focus on detection of general thermal patterns in the enclosure. Because of time constraints, it is impossible to conduct a detailed enclosure investigation of hidden interior surfaces of the enclosure.

Most deterioration in modern building enclosures result from air leakage. Thermographic inspections during internally induced high differential pressure conditions detect more easily accentuated air leakage anomalies as well as conduction, convection and moisture-induced thermal patterns. During normal pressure conditions, thermal patterns created by air leakage are less obvious, and at times masked as in the case of rain screen wall constructions. Thermographic inspections are conducted during air leakage testing primarily for these reasons.

An interior thermographic inspection during air leakage testing is conducted while the building is under a maximum mechanically induced negative pressure. Air passing from exterior to interior creates greater surface temperature differences on interior walls. Therefore, heat loss patterns resulting from air leakage are more visible on interior surfaces.

Depressurizing the building, during air leakage testing in cold weather, spreads infiltration more evenly through the enclosure than pressurization techniques that employ either the building HVAC systems or a separate external calibrated fan. This reduces possible freezing of sprinkler, heating and plumbing pipes, as well as fans and louvers in mechanical systems.

b) Investigative Inspections

Ideally these thermographic inspections follow an initial general inspection (preferably conducted during high pressure differential conditions). If a building has not been previously inspected, a general overview is carried out at the same time as detailed inspections. The detailed inspections are carried out from the exterior with the building under maximum positive pressure, and in the interior with the building under maximum negative pressure. The pressure is regulated by building mechanical systems.

Thermographic inspections during subsequent site visits should include the following:

1. areas not been previously inspected, including exterior walls and areas above suspended ceilings, behind perimeter convectors, and other hidden interior surface areas. Investigation of these areas requires considerable time. Usually only a representational cross section of typical details are usually investigated to obtain an overview of thermal performance.

2. details identified as potential problems through analysis of architectural documents and visual inspection.

3. request for further information on effectiveness of retrofit work. Previous thermographic inspections, whenever available, may be used for comparative purposes.

4. request for information concerning degree of the deterioration, if any, in those areas identified as problem areas from past thermographic inspections. In this case, visual inspections are used in conjunction with thermographic information. Comparison of thermographic images is complex, and sometimes difficult if the environmental conditions vary from one investigation to the next.

5. problem areas identified by building occupants and operating and maintenance staff.

6. potential problem areas identified by other disciplines, in the initial investigation.

3.3.2 Equipment

a) Inspection During Air Leakage Tests

The following is a list of equipment used for the thermographic inspection conducted during the air leakage testing.

- Thermovision short and long wave 782 and 750, including 7°, 12°, 20°, and 40° lenses,

- modified Panasonic 8410 VCR complete with Sony condenser microphone and mono earphone to record thermographic images;
- Panasonic 8420 VCR with Sony condenser microphone and mono earphone to record scan converted thermographic images;
- Viewscan Scan Converter and Imagpac digital recorder with 1.2 MB bubble memory cassettes;
- All necessary cabling to connect the various electronic equipment;
- Pistol grip and body harnesses for investigations in inaccessible locations;
- rechargeable gel cell batteries for Thermovisions and Viewscan accessories;
- Panasonic rechargeable batteries for VCR's;
- 1 and 10 litre dewar for liquid nitrogen storage;
- 2 hour VHS video tapes;
- digital thermometers;
- Note paper, pens, flashlights, measuring tapes, spare batteries for flashlights, rechargers for gel cell batteries and for VCR batteries, screwdrivers (different types for removal of convector covers), smoke pencils, mirrors, and other equipment for miscellaneous data collection and recording;
- PWC Thermovision carts with swivel head tripod for scanner;
- 3m aluminum step ladders for access to spaces above suspended ceilings; and
- Extension cords with power bar for recharging batteries.

b) Investigative Inspections

The equipment used in investigative field trips are basically the same as that used in the air leakage infrared investigation. Refer to the equipment listed in section 3.3.2 a).

c) Laboratory Analysis

The use of Viewscan Scan Converter and Imagpac digital recording system has enabled BPD to carry on data analysis and operate image processing software driven by standard IBM AT hardware. Raw and calibrated digital thermographic data is now stored, retrieved, processed and analyzed on IBM PC compatible hardware. Hard copies are produced on 35 mm colour slide or print film from the ECG display.

3.3.3 Detailed Procedure

PWC developed detailed procedures for application of infrared sensing devices used to assess building heat-loss. These procedures have been used to certify thermographic personnel examining thermal integrity of building enclosures. These procedures are included in CAN/CGSB 149-GP-2MP - Manual for Thermographic Analysis of Building Enclosures, 1986. This provisional standard addresses operation and maintenance of infrared equipment, thermographic data collection, and infrared thermal pattern recognition. It outlines the essential measurement procedures that are carried out by thermographic personnel in field investigations. The identified procedures are for qualitative assessment of building enclosures.

a) Inspection During Air Leakage Tests

In addition to the above mentioned document, the following procedures are carried out in thermographic inspection during air leakage testing, and for investigative thermographic inspections:

1. Take inventory of all available equipment.
2. Send out all electronic equipment subject to deterioration for repair, correlation, and/or calibration approximately 4 to 6 weeks prior to the field trip if necessary.
3. If more than one system is available, decide on type of equipment to be used. It is advisable to carry out survey with same equipment used in previous investigations.
4. Develop a checklist of necessary equipment and use. Verify equipment sent to the field. Use list to check equipment at the end of the field trip.
5. Pack equipment well in advance of the field trip to allow sufficient delivery time. Allow a few days for contingencies.
6. Once on site, charge Thermovision and VCR batteries. Obtain liquid nitrogen from a local supplier.
7. Set up equipment and check operation prior to use.
8. The operators of thermographic equipment are to be on site and ready for testing well in advance of the survey time. Discuss prior to the investigation, the roles of people involved in the investigation. Walkie–talkies should be given to thermographic crew to communicate with the test controller to verify constant pressure conditions throughout the investigation (during air leakage testing).
9. Use thermographic carts to transport equipment around building interior during depressurization air leakage testing. Use carts for transportation of equipment around building exterior during pressurization air leakage testing only when convenient.
10. Operators of the thermographic equipment are to follow the manufacturer's operating manuals. The visual images of surface temperatures measured by Thermovision equipment are recorded on videocassette recorders and as digitized images onto bubble cassettes. An audio track is simultaneously recorded during the investigation to identify inspection location, specific interior and exterior temperatures, reference isotherms and isotherm levels, pressure conditions, and other pertinent information. This information is used in analysis.
11. Maintain constant average pressure differential across the enclosure throughout air leakage testing when thermographic inspections are being carried out. Continuously monitor wind speed and direction, exterior and interior ambient temperatures and relative humidities. This is achieved either through a remote weather station identified in the class D document dealing with weather monitoring, or with information obtained from the local weather station. Interior temperature is monitored by digital thermometer or sling psychrometer.

12. Equipment operators and certified thermographers are to review thermographic video tapes the next day and comments concerning thermographic images recorded for later reference.
13. From analysis of tapes, record locations which require further investigation during the remainder of the site visit.

b) Investigative Inspections

1. Refer to items 1 to 6 in section 3.3.3 b) "Inspection During Air Leakage Testing".
2. Conduct a detailed visual inspection of the building during daylight hours before and after the thermographic inspection of the enclosure during the evening.
3. Ask the building operator to adjust air handling systems to maximum negative building pressure by closing all the supply air louvers, opening all the relief and exhaust louvers, turning off all supply fans, and turning on all exhaust fans. Maintain this operating condition throughout the thermographic inspection. Air leakage patterns are highly visible on the interior surfaces under these conditions.
4. Use pressure monitoring tubes and pressure meters to periodically verify that the pressure within the building is constant throughout the inspection. Note the operating pressure under which the inspection is carried out. Also note the wind direction and speed, interior and exterior ambient air temperatures and relative humidities.
5. A thermographic equipment operator and a site preparation technician carry out this work. In some buildings, a security escort is required throughout the investigation.
6. Use a thermographic cart to transport equipment around the building.
7. Give special attention to the following areas of the enclosure during inspection:
   - walls below window sills and behind convectors;
   - hidden walls in closets and storage areas;
   - infrequently used external stairwells;
   - exterior walls in conditioned machine rooms;
   - exterior doors throughout the building;
   - exterior wall/roof junctions over suspended ceilings;
   - junction of stairwells and exterior walls;
   - hidden surfaces on exterior walls behind drapes & hangings;
   - loading docks;
   - elevator shafts;
   - expansion joints.
8. Follow the manufacturer's operating manuals. Record thermal images of surface temperatures measured by the Thermovision equipment on video cassette recorders and bubble memory cassettes. Simultaneously record an audio track during the investigation in order to identify location of inspection, specific interior and exterior temperatures, reference isotherms and isotherm levels, pressure conditions, and all

other pertinent information. Label recorded video cassette for identification purposes. Use information for analysis purposes.

9. Pack equipment brought out to the field and verify with the checklist prior to shipment back to the office.

If exterior scans are carried out, the building should be put into positive pressure so as to accentuate the thermal patterns created by air leakage through the enclosure. If investigations are conducted from the interior negative pressures should be induced to emphasize the air leakage patterns. These investigations are carried out to verify the mechanisms of heat loss when there is doubt from the Stage II initial investigation.

3.3.4 Assessment

a) For Inspection During Air Leakage Tests

Recorded tapes made during air leakage testing are reviewed on Thermovision display monitor the day after inspection by building enclosure specialists and others responsible for design, construction and maintenance of the building. Notes are made on all identified anomalies within the enclosure. Information obtained from this review is used as a basis for preliminary visual investigation where identified problem areas are photographed for visual identification. Design drawings and specifications are used to verify causes and potential effects of flaws in the enclosure.

The use of Viewscan Scan Converter and Imagpac digital recording system has enabled BPD to replace the original prototype analysis equipment with identical image processing software driven by standard IBM AT hardware. Raw and calibrated digital thermographic data is now stored, retrieved, processed and analyzed on IBM PC compatible hardware. Hard copies are produced on 35 mm colour slide or print film from the ECG display.

For purposes of quantification, the following data is adjusted to obtain the correct temperature values:

- type of scanner used to obtain the image;
- the aperture of the optical system;
- the thermal level and range used to obtain the image;
- specific calibration information for the scanner and display used to obtain the original thermal image;
- the reflective ambient temperature that the scanner was operated in; and
- the emissivity of the surface being observed.

Quantification is necessary to determine relative thermal resistances and assess the severity of thermal anomalies. It should be noted that the thermal resistances obtained from this process are only an approximation. Assessment is made possible due to the relative values of the thermal resistances obtained from the images.

Manipulation of the thermal image is carried out in numerous ways. A partial list includes:

- enhancement of thermal image by averaging temperature values (smoothing);
- modification of colour scale used to identify temperature ranges within thermal image;
- separation of different zones on thermal image for further modification;
- display of three dimensional thermal image;
- display of multi images on one screen and merging images into one large composite thermal image; and
- normalizing all images in computer memory to one set of data from an original image.

Thermal images, whether manipulated or not, are photographed using Polaroid or 35 mm cameras. Thermograms produced are finished photographs and are inserted into reports. Composite thermograms are also created by cutting and pasting numerous photographs together. This is sometimes done to increase detail.

Analysis of the thermal images is performed in conjunction with available information from video tape, as–built documents, other documents relating to the construction process, and interviews with building manager and engineer, project manager and property manager.

b) Investigative Inspection

Prior to the investigative thermographic inspection, a detailed visual investigation of the building enclosure is carried out. Special attention is given to previously identified problem areas. The information obtained from these inspections is used as a basis for analysis of thermographic tapes. Identified problem areas are photographed for visual identification and correlation with thermograms. Design drawings and specifications, approved shop drawings, interviews with the building manager, engineer, project manager, and property manager are used to verify causes and potential effects of enclosure failures.

Computer analysis procedures are similar to those discussed in the section above dealing with thermographic data analysis of information obtained during air leakage testing. Analysis is carried out for quantification of thermal images to assess severity of areas with abnormal heat loss.

Specific recommendations are made for repair of those areas where abnormal heat loss leads to high energy losses or deterioration of the building envelope. Recommendations are made on the basis of determined mechanisms of heat loss, building materials and construction involved, and apparent relative severity of heat loss.

3.3.5 Resource Allocation and Timing

a) Inspection During Air Leakage Tests

Thermographic inspections during air leakage tests make use of favourable operating conditions set up for decay rate tracer gas air leakage testing. Results of thermographic inspections are not as demonstrative without constant high pressure differentials. Monitored operating conditions during the tracer-gas air-leakage test offer the ideal situation where enclosure air leakage anomalies can be related to known pressure differentials.

A two hour allocation to carry out a tracer gas air leakage test is sufficient for the thermographic team to quickly scan the building exterior. If four hours is allocated for the air leakage test, one crew with thermographic equipment could carry out a more detailed inspection of the building exterior.

Air leakage testing, because of its complexity and manpower requirement must be given top priority during field testing. The thermographic investigation is viewed as an ancillary test that can be conducted without jeopardizing air leakage testing.

Calibration, repair, set-up, general checking, and shipment of equipment to and from the site requires anywhere from 3 days to 3 weeks. Time required for these activities depend on the condition of the equipment and the amount of service work required before and after site visits. The time required for data reduction and analysis of thermographic tapes and photographs varies from 2 days to 2 weeks. This activity depends on the complexity of the building, the quality of the thermographic tapes and the condition and availability of the thermographic equipment and materials.

The time required for report writing varies from one to four weeks, depending on the complexity and scope of the report.

b) Investigative Inspection

The building's mechanical systems are set at full negative pressure during the interior inspection. This is done to accentuate the air leakage patterns on the inside surfaces of the exterior walls. This operating condition will interfere with the following disciplines:

- thermal comfort;
- air quality;
- electrical;
- mechanical;
- energy; and
- functional analysis.

No testing in these disciplines can be carried out during the thermographic inspection. All but emergency lighting should be turned off for thermographic inspections.

Detailed inspections are usually carried out by a thermographic team of two to three people. Depending on the size and complexity of the building, a number of evenings work may be necessary to fully investigate problem areas. Those areas requiring significant preparation to be viewed or special equipment configuration, because of lack of viewing space and/or difficult accessibility, will take longer to properly investigate than clearly visible walls and roofs.

The time required for calibration, repair, set-up, general checking, and shipment of equipment to and from the site requires from 3 days to 3 weeks. Time required for these activities depends on the condition of the equipment and the amount of service work required before and after field trips.

The time required for analysis of thermographic tapes and photographs varies from 2 days to 2 weeks. This activity depends on complexity of the building, quality of thermographic tapes, condition and availability of thermographic equipment and materials.

Report writing requires one to four weeks. Scope of the report will influence completion time. A report dealing with analysis of the building enclosure, analysis of investigations during high pressure conditions and detailed investigations of specific problem areas will require more time than a report from one general qualitative survey of a similar building.

3.3.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

PWC has developed a framework that all thermographic reports should conform to. The headings that are included in these reports include:

- Abstract
- Table of Contents
- Introduction
- Problem History
- Requests
- Preliminary Data
- Procedure
- Environmental Conditions
- Findings
- Recommendations
- Appendices

For convenience and clarity, data gathered for specific projects are recorded on standardized data sheets. These blank data sheets may include:

- Building Enclosure Performance Investigation Report Cover Sheet. Basic information for the project is recorded on this sheet, including; project number, building location, names of people involved in project, identification and dimensions of enclosure components, and environmental conditions before, during and after the investigation.

- Building Examination Film Record.
  Used to log information on photographs taken during site visits, including distance, lens, subject, location of detail on building, what is being photographed, etc.
- Thermographic Investigation Data Sheet.
  Used to present selected thermograms and information required for qualitative identification of thermal anomalies, i.e., time, location,temperatures, RH, thermographic equipment used, settings on equipment, etc. Preliminary assessment of the thermograms is written in the 'note' section.
- Thermographic Investigation Thermogram Reference Sheet.
  Used to relate thermograms to the construction detail and visuals of the building, i.e., elevation sketches, photographs, etc.
- Thermal Gradient Data Sheet.
  Used to record the calculation of thermal gradients when derived by arithmetic means. Also used as a reference for information on the wall assembly, (i.e., thickness, type of materials, thermal resistance values, thermal mass, etc.)
- Vapour Pressure Data Sheet.
  Used to record results of calculations to derive actual and saturated vapour pressure gradients. Space is also given for comments on air leakage, dew point and probability of condensation.
- Thermogram Digitization Log Sheet.
  Used to identify thermogram that has been taken from thermographic video tape, digitized and loaded into computer memory. Base information recorded on this sheet includes:
  - name of building, date of survey;
  - Thermovision and VCR used;
  - inside and outside air temperatures;
  - atmospheric pressure;
  - sky conditions during survey;
  - wind speed and direction;
  - pressure differential through the enclosure.

  Specific information filled out for each digitized thermal image include:
  - identifier number;
  - VCR counter number,
  - identification of image,
  - time recorded;
  - range and level selections;
  - reference temperatures;
  - isotherm level and ranges;
  - material being observed; and
  - other additional comments.

4. REFERENCES

ASHRAE Standard 101, "Application of Infrared Sensing Devices to the Assessment of Building Heat Loss Characteristics", 1981.

CAN/CGSB 149-GP-2MP, "Manual for Thermographic Analysis of Building Enclosures, 1986".

Filippone, A., McIntosh, G., "Minimum Resolvable Temperature Difference (MRTD) Testing: Equipment Specifications For Building Performance Diagnosis", Proceedings of Thermosense IV, The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, Bellingham, Washington, 1981, Vol. 313, pp. 102 - 111.

Frisk, P., McIntosh, G., "Digital Image Processing for Thermogram Interpretation", Proceedings of Thermosense IV, The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, Bellingham, Washington, 1981, Vol. 313, pp. 169 - 176.

Grot, R.A., Burch, D.M., Silberstein, S., Galowin, L.S., "Measurement Methods for Evaluation of Thermal Integrity of Building Envelopes", U.S. Department of Commerce, Centre for Building Technology, National Bureau of Standards, Washington, D.C., 1982.

ISO /TC 163 /SC1 /WG N31E - Draft Standard, "Infrared Method, Level I, Modes 1, 2 & 3, for Quantitative Detection of Thermal Irregularities in Building Enclosures".

ISO /TC 163 /SC1 /WG4 - Draft Standard, "Thermal Insulation - An Infrared Method for Qualitative Detection of Thermal Irregularities in Buildings".

Kaplan, A.G., Mill, P.A.D., and Committee, "Draft Standard for Certification of Infrared Building Thermographic Personnel", Public Works Canada, November 1981.

Mill, P.A.D., "Development of PWC Capabilities in Thermographic Diagnosis of Building Envelope Deficiencies", PWC report series No. 27, 1979.

Mill, P.A.D., "Thermography - A New Building Science Tool", PWC report series No. 29, 1979.

Mill, P.A.D., "Thermographic Interpretation of Building Enclosure Deficiencies in Canadian Public Buildings", Proceeding of Thermosense III, The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, Bellingham, Washington, 1980, Vol. 254, pp. 121 - 136.

Mill, P.A.D., Kaplan, A.G., "A Generic Methodology for Thermographic Diagnosis of Building Enclosures", PWC report series No. 30, 1982.

PWC, Guideline on Thermographic Investigation for Insulation Installation in Building Envelopes Using an Imaging Infrared Radiation Sensing System (Level I, Field Modes 2, 3), Document PWC 149-4, June 1982.

Thermovision 780 Operating Manual.

Thermovision 782 Operating Manual.

Thermovision 110 Operating Manual.

Thermovision 750 Superviewer System Preliminary Instruction Manual.

5. APPENDICES

5.1 STANDARD TERMS AND UNITS OF MEASUREMENT

AIR LEAKAGE Free movement of air through unintended passages in assemblies separating interior and exterior environments.

APERTURE An opening between lens and receiver (either film or IR detector). The larger the opening the lower the intensity of radiation required. Therefore, the brighter or hotter the subject, the smaller the opening should be. The aperture is referred to as the f–stop. An f–stop of f 1.8 is larger than f 4which is in turn larger than f 16. The lowest f–stop will give the greatest sensitivity in the lower temperature ranges that exterior thermography deals with.

BLACK BODY An ideal thermal radiator (emissivity = 1.0), which emits and absorbs the maximum theoretically available amount of thermal radiation at a given temperature and wavelength. The infrared radiation received by the surface may be directly correlated to the temperature. Factors to be considered when correlating to temperature are spot size, distance to object, and atmospheric attenuation.

BRIGHTNESS CONTROL A control used to adjust the brightness of the visual image. The brightness function is similar to that of a conventional television.

BUILDING ENCLOSURE The assembly of materials and components that make up the exterior shell of the building.

BUILDING SCIENCE The application of fundamental laws of physics and chemistry and their effects on building material assemblies.

CHIMNEY EFFECT The rising of warm air in a building causing exfiltration at the upper floors and infiltration at the lower ones when inside temperature is greater than exterior temperature. This is more pronounced in multi–storey buildings.

CONTRAST The rate of change from black to white (refer to grey scale).

DEPTH OF FIELD The portion of the picture that is in true focus. The larger aperture, the smaller the section that is in focus.

DEW POINT The temperature which water vapour condenses. It is dependent on humidity. In air, this condensation appears as fog. On solid surfaces it appears as dew.

DEWAR FLASK A flask used to protect either a hot or cold substance from its surroundings. It is composed of an internal and an external casing with the dead air between providing the insulation. The common thermos is an example. Various sizes of dewar flasks are used to contain liquid nitrogen. It should be noted that liquid nitrogen is constantly evaporating and the flask should never be sealed.

EMISSIVITY The property of a substance's surface that relates infrared radiation emmitance to the actual object temperature. It has a maximum value of 1 which is referred to as black body emissivity.

EXFILTRATION Air flow outward through a structure.

GRAY SCALE The gradation from black to white in a thermal image (commonly referred to as contrast). The gray scale is set separately for visual and photographic reproductions.

HEAT CAPACITY The quantity of heat needed to effect a described temperature change on a known mass of material in a set period of time.

HEAT TRANSFER The movement of energy from a location of higher temperature to a location of lower temperature. This can occur by induction, convection, or radiation, depending on the characteristics of the material involved in the energy transfer.

HUMIDITY The presence of water in the air.

HYBRID IMAGE An infrared image superimposed on a visual background of the subject.

HYBRID VISION A combination of the visual electromagnetic wavelength and certain wavelengths of the invisible infrared which , when the respective images are superimposed, gives a visual and thermal image of an object.

IMAGING LINE SCANNER An apparatus which scans in a single dimension and is moved perpendicular to the scan direction to produce a two dimensional thermal map of the scene.

INFILTRATION Air flow inward through a structure.

INFRARED Electromagnetic radiation wavelength which is longer than visible red but shorter than micro waves.

INFRARED DETECTOR A device which transforms infrared irradiance incident upon it into some other form of energy, in most cases electricity.

INFRARED SENSING DEVICES A wide range of instruments used to display and/or record information proportional or equivalent to the thermal radiation from the surface of the object viewed by the instrument.

INFRARED IMAGING SYSTEM Apparatus which converts two dimensional spacial variations in infrared radiance from any object surface into a two dimensional thermal map in which variations in radiance are displayed in gradations of gray tone or selectable false colours.

INSTANTANEOUS FIELD OF VIEW The angle in milliradians determined by subdividing the size of the sensor's detector by the effective focal length of the sensor's objective lens system and multiplying by 1000. The IFOV is also called the resolution element.

INSULATION Material which resists heat transfer. A material of low heat conductivity.

IRRADIANCE The radiant power per unit area incident on the surface.

IR CAMERA An instrument which receives the infrared radiation and converts it into an electrical signal, which is further transformed into a visual image on a monitor.

ISOTHERM All areas emitting an equal quantity of infrared radiation (ISOPOT) within the wavelength gradation being monitored (dependent on range and level settings). Isotherms join areas of equal temperatures on the display monitor. For black body emissivity of one, this represents areas of equal temperature, hence the common use of the term isotherm.

ISOTHERM THERMOGRAM A print of a thermal image with superimposed isotherms.

LEVEL CONTROL An adjustment which enables the operator to select an intensity level of infrared emission (apparent temperature). The range selected controls the sensitivity of the adjustment.

LIQUID NITROGEN The substance that is used as a thermal radiation barrier shield for the detectors in Thermovision models 720, 750, and 782. This liquid cools detectors to provide a low reference point for other surface temperatures in thermal images.

MINIMUM RESOLVABLE TEMPERATURE DIFFERENCE A measure of the ability of an infrared imaging system to allow the human observer to recognize periodic bar targets on the display. The MRTD is the minimum temperature difference between a standard periodic test pattern and its blackbody background at which an observer can resolve the pattern as a four bar pattern. Unlimited viewing time and optimization of instrument level and gain controls are allowed.

MONITOR Also known as a 'display unit'. This unit receives a signal from the IR camera and transforms it into a visual image which is projected on a video tube.

MONOCHROME The conventional display of the infrared image on Thermovisions, image (Gray): Thermovisions using only gray tones.

NOISE EQUIVALENT TEMPERATURE DIFFERENCE A measure of the noise of an infrared imaging system or line scanner. It is the target to background temperature difference between a low spacial frequency blackbody target and its blackbody background at which a ratio of 1 is obtained between the peak to peak signal and RMS noise at the output of the detector processing electronics of the sensor in question.

OBJECT PLANE RESOLUTION The size of the object plane which corresponds to the product of the system's instantaneous field of view in radians and the distance from the system to the object.

RADIANCE The total radiant flux–per–unit, solid angle–per–unit projected area which emanates from a surface. It includes the self–emmitted radiation plus reflections from sources other than the object of interest, as intercepted from the direction of measurement.

RADIOSITY The total radiant flux which leaves a surface per unit area. The radiosity is the sum of the radiant flux emitted and reflected by the surface plus any radiant flux transmitted through that surface.

RANGE Denotes the sensitivity of IR receivers. The lower the number, the more sensitive the adjustment.

RANGE OF APPARENT SPACIAL RESOLUTION The apparent thermal resistance of a building determined to a range based on an allowance for the uncertainties of the planar angle defined by the instrument instantaneous field of view, i.e. the resolution element.

SPOT WOBBLE A function of the Thermovision raster scanner systems that displaces display scan lines to fill in the image. This has the side effect of making a sharp focus impossible. The function may be switched on and off.

STEPPED GRAY SCALE A function that enables the separation of the gradual gray scale into five specific steps, thus making interpretation of apparent temperature variations much easier.

SUPERVIEWER A piece of equipment which allows an infrared image to be superimposed on a similar visible background.

SURFACE EMITTANCE The ratio of radiant energy from a surface at a given temperature to the correspondent radiant energy from a black body surface at the same temperature.

TEMPERATURE INDEXING A coefficient of thermal performance based on the ratio of the difference between the inside surface temperature and exterior ambient temperature, and the difference between the inside ambient temperature and the exterior ambient temperature across a component of the building envelope. The coefficient can be used to estimate the apparent thermal resistance to the component.

THERMAL ANOMALIES The heat loss characteristics of a structure, which are not in accordance with intended design characteristics.

THERMAL EQUILIBRIUM The condition where the heat flow through a structure has reached a steady state condition. For building diagnostics purposes, this condition is approached when the environmental conditions remain approximately the same over a period of time. Heat gain = heat flow = heat loss with no storage of heat.

THERMAL IMAGE A visual representation of apparent temperature distribution over a surface area.

THERMAL REFLECTION That portion of the radiosity from a surface which is : attributed to reflection.

THERMAL RESISTANCE The measure of the insulating quality of a building envelope component based on steady state conditions. The apparent thermal resistance could be approximated by using a procedure such as the TI method.

THERMAL RESOLUTION The measure of the capability of an infrared sensing device to distinguish the apparent radiance temperature difference between two black bodies near the same temperature.

THERMAL TIME LAG The phase difference in hours between the exterior and the interior surface temperatures when the exterior surface is subjected to a sine wave temperature change of a twenty–four hour period.

THERMOGRAM The visual reproduction of a thermal image. A two–dimensional record or a photograph of an image which maps the apparent temperature of the scene as sensed by an imaging system.

THERMOGRAPHER A trained infrared system operator with a para–professional knowledge of building science.

THERMOGRAPHY The process of generating a thermogram by an infrared imaging system. The conversion of a temperature pattern by contrast into an image for viewing. A technique of representing any object by interpreting the electromagnetic energy radiating from its surface. The magnitude of thermal energy by the object is portrayed by the intensity of light or colour on the monitor.

THERMOLOGIST A trained infrared systems operator with a professional knowledge of building sciences.

TRANSMITTANCE The ratio of the radiant energy transmitted through a body to that incident upon it. A characteristic of a substance that relates to its ability to transmit radiation of a specific wavelength. For example, a typical glass will transmit visual radiation but only some infrared radiation.

VOID Any localized area of a building envelope which has a significantly different thermal resistance than the area surrounding it. The void may be due to partial or complete absence of insulation.

5.2 APPLICABLE AUTHORITIES AND REGULATIONS

The following is a list of the applicable standards related to thermographic inspections for the purposes of building enclosure analysis.

1. ASHRAE Standard 101, "Application of Infrared Sensing Devices to the Assessment of Building Heat Loss Characteristics", 1981.

2. ISO /TC 163 /SC1 /WG N31E – Draft Standard, "Infrared Method, Level I, Modes 1, 2 & 3, for Quantitative Detection of Thermal Irregularities in Building Enclosures". ISO /TC 163 /SC1 /WG4 – Draft Standard, "Thermal Insulation – An Infrared Method for Qualitative Detection of Thermal Irregularities in Buildings".

3. CAN/CGSB 149–GP–2MP, Manual for Thermographic Analysis of Building Enclosures, 1986.

4. ASTM C168–80 a, "Standard Definitions of Terms Relating to Thermal Insulating Materials".

5. CGSB – 51 – GP – 42MP, "Handbook on Insulating Homes for Energy Conservation".

There is no government sponsored organization at present certifying thermographers in Canada. NAIRTA (North American Infrared Thermographic Association) used to certify operators through the sponsorship of PWC and GSA of USA. They have since disbanded. Other international institutions and organizations that are associated with thermography as a means of analysis of building enclosures include:

- SPIE; The Society of Photo–Optical Instrumentation Engineers (USA);
- NBS; National Bureau of Standards, USA;
- Swedish Council of Building Research; and
- Oaks Ridge Cold Weather Research Lab, Dept. of National Defence, USA;
- ASHRAE, American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers, USA.
- Infraspection Institute, Vermont, USA.

5.3 BIBLIOGRAPHY

TOPICS: BUILDINGS AND PEOPLE
BUILDING ENCLOSURE SCIENCE
BUILDING ENCLOSURE DIAGNOSTICS

Baker, M.C., **Principles of Enclosure Design**, Ottawa, National Research Council of Canada.

Garden, G.K., **Function of the Building Enclosure**, Building Science Papers, Public Works Canada.

Latta, J.K., **Walls Windows and Roofs for the Canadian Climate**, Ottawa, National Research Council of Canada, NRCC 13487, 1973.

Mill, P.A.D., **Optimum Building Enclosure Performance**, Lecture 3, Buildings, Shelter and Environmental Separators, Carleton University Building Construction 2 Lectures, Ottawa.

Mill, P.A.D., **Thermography – A New Building Science Tool**, Report Series No. 29, Ottawa, Public Works Canada.

Sasaki, J.R., **Indoor Environment and Comfort**, Ottawa, Division of Building Research, National Research Council of Canada.

Canadian Building Digests

Garden, G.K., **Design and Service Life**, CBD 120, Ottawa, National Researach Council of Canada

Hutcheon, N.B., **Thermal Environment Human Comfort**, CBD 102, Ottawa, National Research Council of Canada.

Northwood, T.D., **Sound and People**, CBD 41, Ottawa, National Research Council of Canada, 1963.

Northwood, T.D., **Sound Insulation in the Office Building**, CBD 51, Ottawa, National Research Council of Canada, 1964.

Wilson, A.G., **Ventilation and Air Quality**, CBD 110, Ottawa, National Research Council of Canada.

TOPIC: HEAT TRANSFER

Adams, L., **Thermal Conductance of Air Spaces**, ASHRAE Journal, March 1976, pp. 37–38.

American Society for Testing and Materials, **Standard Method of Test for Thermal Conductivity by Means of the Guarded Hot Plate**, ASTM Designation C–177, 1975.

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook – 1985 Fundamentals**, Atlanta, Georgia.

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Inc., **Energy Conservation In New Building Design**, Atlanta, Georgia, 1975, Standard 90 – 75.

Auliciems, A., R de F Freitas, Hare, F.K., **Winter Clothing Requirements for Canada**, Environment Canada, Climatological Studies No. 22, Toronto, 1973.

Ball, W.H., **Thermal Insulation In Dwellings**, Canadian Building Digest No. 16, National Research Council of Canada, April 1961.

Brown, W.G., **Graphic Determination of Temperature Under Heated or Cooled Areas on the Ground Surface**, Technical Paper No. 163, National Research Council of Canada, Oct. 1963.

Brown, W.P., Wilson, A.G., **Thermal Bridges in Buildings**, Canadian Building Digest No. 44, National Research Council of Canada, August 1963.

Gebhart, B., **Heat Transfer**, McGraw–Hill, Second Edition, 1971.

Handegord, G.O., **Thermal performance of Frame Walls, Part III – Wall Surface Temperatures**, ASHRAE Transactions, Vol. 63, 1957, pp. 311 –346. (DBR Research Paper No. 34.)

Handegord, G.O., Hutcheon, N.B., **Thermal Performance of Frame Walls**, ASHRAE Transactions, Vol. 58, 1952, pp. 301–320.

Johnston, G.H., **Permafrost and Foundations**, Canadian Building Digest No. 64, National Research Council of Canada, April 1965.

Latta, J.K., **Walls Windows and Roofs for the Canadian Climate**, Special Technical Publication No. 1, National Research Council of Canada, Oct. 1973. (NRCC 13487)

Min, T.C., Schutrum, L.F., Parmelee, G.V., Vouris, J.D., **Natural Convection and Radiation in a Panel-Heated Room**, ASHRAE Transactions, Vol. 62, 1956, pp. 337–358.

National Research Council of Canada, **Measures for Energy Conservation in New Buildings**, Ottawa, National Research Council of Canada, NRCC 16574, 1978.

Penner, E., **Ground Freezing and Frost Heaving**, Canadian Building Digest No. 26, National Research Council of Canada, Feb. 1962.

Sasaki, J.R., **Thermal Performance of Exterior Steel-Stud Frame Walls**, ASHRAE Transactions, Vol. 78, Part I, 1972, pp. 192 – 198. (DBR Research Paper No. 596.)

Shirtliffe, C., **Thermal Resistance of Building Insulation**, Canadian Building Digest No. 149, 1972.

Solvason, K.R., **Large-scale Wall Heat-flow Measuring Apparatus**, ASHRAE Transactions, Vol. 65, 1959. (DBR Research Paper No. 101)

Solvason, K.R., Wilson, A.G., **Factory-Sealed Double-Glazing Units**, Canadian Building Digest No. 46, National Research Council of Canada, Oct. 1963.

Veale, A.G., **Insulation Thicknesses for Houses**, Canadian Builder, Vol. XIV, No. 11, Nov. 1964.

Wilson, A.G., Brown, W.P., **Thermal Characteristics of Double Windows**, Canadian Building Digest No. 58, National Research Council of Canada, Oct. 1964.

Wilson, A.G., **Condensation on Inside Window Surfaces**, Canadian Building Digest No. 4, 1960.

Wolf, S., Solvason, K.R., Wilson, A.G., **Convective Air Flow Effects with Mineral Wool Insulation in Wood-frame Walls.** ASHRAE Transactions, Vol. 72, Part II, 1966, pp. 11.3.1 – 11.3.8. (DBR Research Paper No. 318.)

TOPIC: SOLAR RADIATION AND BUILDINGS

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook - 1985 Fundamentals**, Atlanta, Georgia.

Parmelee, G.V., Aubele, W.M., **Radiant Energy Emission of Atmosphere and Ground**, ASHRAE Transactions, Vol. 58, 1952, pp. 85 - 106.

Stephenson, D.G., **Principles of Solar Shading**, Canadian Building Digest No. 59, National Research Council of Canada, Nov. 1964.

Stephenson, D.G., **Reflective Glazing Units**, Canadian Building Digest No. 101, National Research Council of Canada, May 1968.

Stephenson, D.G., **Solar Heat Gain Through Glass Walls**, Canadian Building Digest No. 39, National Research Council of Canada, March 1963.

Stephenson, D.G., **Tables of Solar Altitude, Azimuth Intensity and Head Gain Factors for Latitudes from 43 to 55 Degrees North**, Technical Paper No. 243, National Research Council of Canada, April 1967. (NRCC 9528)

Threlkeld, J.L., **Thermal Environmental Engineering**, Prentice-Hall, NY, 1972.

Threlkeld, J.L., Jordan, R.C., **Direct Solar Radiation Available on Clear Days**, ASHRAE Transactions, Vol. 64, 1958.

TOPIC: THERMOGRAPHY

American Thermographic Society, **Thermographic Quarterly**.

Architectural and Building Sciences Directorate, Public Works Canada, **International Building Thermographic Training Course**, PWC, Dept. of Energy USA, General Service Administration USA, 1981.

Axen, B., Pettersson, B., **Thermography - Testing of Thermal Insulation and Airtightness in Buildings**, Agema Infrared Systems, Burlington, Ont., 1980.

Bramson, H.A., **Infrared Radiation: A Handbook for Applications**, Plenum Press, New York, 1968.

Building Thermographic Applications, Agema Infrared Systems, Burlington, Ont.

Burch, D.M., Kusuda, T., Blum, D.G., **An Infrared Technique for Heat Loss Measurement**, NTIS-NBS Technical Note 933, US Gov. Printing Office, Washington, D.C., 1977.

General Thermographic Applications, Agema Infrared Systems, Burlington, Ont.

Headley R.B., Larsen, R.J., Goldberg, G.M., Boyd, R.L., **Infrared Thermography Requirements Study for Energy Conservation**, No. ARI-ADD-77-1, US Energy Research and Development Administration, Washington, DC, 1977.

Hill, A.B., Bevers, D.V., **Infrared Inspection Techniques**, National Petroleum Refiners Association, Washington, D.C.

IRIE, Proceedings of the Second, Third and Fourth Biennial Infrared Information Exchanges, AGA Corporation, 1974, 1976, 1978.

Jamison, J.A., **Infrared Physics and Engineering**, McGraw–Hill, 1963.

Kemp, B., **Modern Infrared Technology**, Howard W. Sams and Co., Indianapolis, N.Y., May 1962.

Kreider, K.G., Hurley, C.W., **Applications of Thermography for Energy Conservation in Industry**, Technical Note 923, NBS, US Printing Office, Washington, D.C., 1976.

Krieth, F., **Principles of Heat Transfer**, Intext Educational Publishers, N.Y., 1973.

Latta, J.K., **Walls, Windows and Roofs for the Canadian Climate**, National Research Council of Canada, NRCC 13487, 1973.

Lawrence, G.R., **Methodology for Detection of Heat Loss from Buildings Through Aerial Thermography**, Ontario Centre for Remote Sensing, Ministry of National Resources, Toronto, Ont., 1976.

Lloyd, J.M., **Thermal Imaging Systems**, Plenum Press, N.Y., 1975.

Marshall, S.J., **Infrared Thermography of Buildings – An Annotated Bibliography**, USA CRREL SR 77–9, National Technical Information Service, US Dept. of Commerce, Springfield, Va., 1977.

Mill, P.A.D., **Thermography – A New Building Science Tool**, Report Series No. 29, Public Works Canada.

Paljak, I., Pettersson, B., **Thermography of Buildings**, National Swedish Council for Building Research, Scangraf AB Stockholm, 1977.

Sabins, F.F., **Remote Sensing Principles and Interpretation**, W.H. Framan and Co., 1978.

Simon, I., **Infrared Radiation**, D. Van Nostrand Co., Toronto, Ont., 1966.

Smith, I.E., Flannagan, M., Probert, S.D., **The Effect of Uncertainties in the Emissivity of Thermal Loss Estimates From Building and Structures**, School of Mechanical Engineering, Cramfield Institute of Technology, England, 1976.

Temperature Measurement and Theory, Agema Infrared Systems, Burlington Ont.

Thermographic Equipment and Operating Instructions, Agema Infrared Systems Burlington, Ont.

Tobiasson, W., Korhonen, C., Dudley, T., **Roof Moisture Survey: Ten State of New Hampshire Buildings**, CRREL Report No. 7731, US Army Cold Region Research and Engineering Laboratory, Hanover, N.H., 1977.

Wolfe, W.L., **The Handbook of Military Infrared Technology**, Office of Naval Research, Dept. of the Navy, Washington, D.C.

Wolfe, W.L., Zissis, G.J., **The Infrared Handbook**, Office of Naval Research, Dept. of the Navy, Washington, D.C.

TOPIC: WEATHER AND CLIMATE

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook – 1977 Fundamentals**, Atlanta, Georgia, Chapter 23, p.16–17.

Byers, H.R., **General Meteorology**, McGraw–Hill, 4th Edition, 1974, 461 p.

National Research Council of Canada, **Climatic Information for Building Design in Canada**, Supplement to the National Building Code of Canada, 1985, Ottawa (NRC 23178), p. 1–20.

National Research Council of Canada, **Commentaries on Part 4 of the National Building Code of Canada**, Supplement to the National Building Code of Canada, 1985, Ottawa, (NRC 23178), p. 143–278.

Statistics Canada, **Canada Year Book 1973**, Information Canada, Ottawa.

Thomas, M.K., **A Bibliography of Canadian Climate 1763–1957**, Atmospheric Environment Service, Department of the Environment. Information Canada. Also – A Bibliography of Canadian Climate 1958–1971, by the same author.

Weathers Ways, Meteorological Branch, Department of Transport, Information Canada, 3rd Edition, 1961, 145 p.

TOPIC: MOLECULES, GASES, HEAT AND RADIATION

Krauskoff, C., Beiser, A., **Fundamentals of Physical Science**, 6th Edition (1975), McGraw–Hill, Inc., New York.

Miller, F. Jr., **College Physics**, 2nd Edition, (1972), Harcourt, Brace and World, Inc., New York.

TOPIC: RADIATION IN THE ENVIRONMENT

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook – 1977 Fundamentals**, Atlanta, Georgia.

Ashton, H.C., **Irradiation Effects on Organic Materials**, National Research Council of Canada, Division of Building Research. Canadian Building Digest No. 121, January 1970.

Byers, H.R., **General Meteorology**, McGraw–Hill, Inc., 1974.

Fanger, P.O., **Thermal Comfort**, McGraw–Hill Book Company, 1972.

Garden, G.K., **Characteristics of Window Glass**, National Research Council, Division of Building Research, Canadian Building Digest No. 60, December.

Gates, D.M., **Science**, Vol. 151, p. 523, 1966.

Gebhart, B., **Heat Transfers**, Second Edition, 1971, McGraw–Hill, Inc.

Mackey, C.O., Wright, Jr., L.J., Clark, R.E., and Gray, N.R., **Radiant Heating and Cooling, Part 1**, Cornell University Engineering Experiment Station, Bulletin 32, 1943.

Siegel, Robert and Howell, J.R., **Thermal Radiation Heat Transfer**, McGraw–Hill, Inc. 1972.

TOPIC: WATER IN THE ENVIRONMENT

American Society for Testing and Materials, **Standard Methods of Test for Water Vapour Transmission of Materials in Sheet Form**, American Society for Testing and Materials, Standard E96, Volume 04.06, 1980,

Baker, M.C., **Decay of Wood**, Canadian Building Digest No. 111, National Research Council of Canada, March 1969.

Baker, M.C., **Thermal and Moisture Deformations in Building Materials**. Canadian Building Digest No. 56. National Research Council of Canada, Ottawa, August 1964.

Byers, H.R., **General Meteorology**, Fourth Edition 1974, McGraw–Hill Inc. 461 p.

Canadian General Standards Board, **Vapour Barrier, Sheet, for Use in Building Construction**, National Standard of Canada, CAN/CGSB–51.33–M80.

Canadian General Standards Board, **Vapour Barrier, Polyethylene Sheet, for Use in Building Construction**, CAN/CGSB–51.34–M86.

Curr, C.G., Marshall, T.J. and Hutton, J.T., **Movement of Water in Soil Due to a Temperature Gradient**, Soil Science, November 1952, p. 335.

Eden, W.J., **Landslides in Clays**, Canadian Building Digest No. 143, National Research Council of Canada, Nov. 1971.

Everett, D.H. and Hayes, J.M., **Capillary Properties of Some Model Pore Systems With Special Reference to Frost Damage**, RILEM Bulletin No. 27, June 1965. p. 31–38.

Feldman, R.F. and Serada, P.J., **Moisture Content – Its Significance and Interaction in a Porous Body**, Proceedings, International Symposium onHumidity and Moisture, Washington, D.C. 1963, Vol. 4, Chapter 28, p. 233–243. (DBR Research Paper No. 267.)

Feldman, R.F. Swenson, E.G., **Volume Change on First Drying of Hydrated Portland Cement With and Without Admixtures**, Cement and Concrete Research, Vol. 5, No. 1, January 1975. (DBR Research Paper No. 624.)

Gold, L.W., **A Possible Force Mechanism Associated With the Freezing of Water in Porous Materials**, Highway Research Board, Washington, D.C. Bulletin 168, p.65–73. September 1958 (DBR Research Paper No. 66.)

Hamilton, J.J, **Swelling and Shrinking Subsoils**, Canadian Building Digest No. 84. National Research Council of Canada, December 1966.

Johansson, C.H., **Moisture Transmission and Moisture Distribution in Building Materials**, Sanitetskek, Vol. 19, 1948, p. 67. (NRCC Technical Translation 189.)

Joy, F.A. and Wilson, A.G., **Standardization of the Dish Method for Measuring Water Vapour Transmissions**, Proceedings International Symposium on Humidity and Moisture. Washington, D.C., 1963. Vol. 4, Chapter 31, p. 259–270. (DBR Research Paper 279)

Kohnke, H., **Soil Physics**, McGraw–Hill, Inc. 1968. 224 p.

Kuzmak, J.M. and Sereda, P.J., **The Mechanism by Which Water Moves Through a Porous Material Subjected to a Temperature Gradient: I, Introduction of a Vapour Gap into a Saturated System**, Soil Science, Vol. 84, No. 4, October 1957, p. 291–299. (DBR Research Paper No. 57).

Legget, R.F. and Crawford, C.B., **Trees and Buildings**, Canadian Building Digest No. 62, National Research Council of Canada. February 1965.

Litvan, G.G., **Adsorption Systems at Temperatures Below the Freezing Point**, Advances in Colloid and Interface Science, Vol. 9, 1978, p. 253–302. Elesvier, Rotterdam. (DBR Paper No. 781.)

Litvan, G.G., **Freezing–Thaw Durability of Porous Building Materials**, presented at the First International Conference on Durability of Building Materials and Components, Ottawa, August 1978.

Litvan, G.G., **Testing the Frost Susceptibility of Bricks**, American Society for Testing and Materials, Special Technical Publication 589. 1975. p. 123–132. (DBR Research Paper 645)

Miller, F. Jr., **College Physics**, Harcourt Brace and World Inc., New York. Second Edition 1972.

National Research Council of Canada, **Commentaries on Part 4 of the National Building Code. Commentary D, Effects of Deformations in Building Components**. Supplement to the National Building Code of Canada 1985. (NRC 23178), p. 189–192.

Paxton, J.A. and Hutcheon, N.B., **Moisture Migration in a Closed Guarded Hot Plate**, Transactions, American Society for Heating and Ventilating Engineers, Vol. 58, 1952, p. 301–320.

Penner, E., **Frost Heaving Pressures in Particulate Materials**, OECD Symposium on Frost Action on Roads, Paris 1973. Vol. 1, p. 379–385. (DBR Research Paper No. 579.)

Penner, E., **Ground Freezing and Frost Heaving**, Canadian Building Digest No. 26, National Research Council of Canada, February 1962.

Penner, E., **Pressure Developed During the Unidirectional Freezing of Water-Saturated Porous Materials**, Proceedings, International Conference of Low Tempature Science, 1966, Sapporo, Japan. Volume 1, Part 2, 1967. p. 1401–1412. (DBR Research Paper No. 374.)

Penner, E., **Pressures Developed in a Porous Granular System as a Result of Ice Segregation**, Highway Research Board, Washington, D.C. Special Report No. 40. (DBR Research Paper No. 81.) July 1959.

Penner, E., **Soil Moisture Suction – Its Importance and Measurement**, Proceedings, American Society for Testing and Materials, Vol. 58, 1958, p. 1205–1217. (DBR Research Paper 76)

Penner, E., **Soil Moisture Tension and Ice Segregation**, Highway Research Board Washington, D.C. Bulletin No. 168, p. 50–64. September 1958. (DBR Research Paper No. 67.)

Penner, E. and Burn, K.N., **Adfreezing and Frost Heaving of Foundations**, Canadian Building Digest No. 128, National Research Council of Canada, August 1970.

Penner, E., Eden, W.J. and Grattan-Bellew, P.E., Canadian Building Digest No. 152, National Research Council of Canada, July 1973.

Ritchie, T., **Efflorescence**. Canadian Building Digest No. 2, National Research Council of Canada, February 1960.

Ritchie T., **Moisture Expansion of Clay and Brickwork**, Building Research Note, No. 103, National Research Council of Canada, Ottawa, October 1975.

Ritchie, T., **Silicone Water Repellents for Masonry**, Canadian Building Digest No. 170, National Research Council of Canada.

Sereda, P.J., **Atmospheric Corrosion of Metals**, Canadian Building Digest No. 170, National Research Council of Canada, 1975.

Sereda, P.J. and Feldman, R.F., **Wetting and Drying of Porous Materials**, Canadian Building Digest No. 130. National Research Council of Canada, Ottawa, October, 1970.

Vallentyne, J.R., **The Algal Bowl**, Environment Canada, Information Canada, Ottawa, 1974. 186 p.

Woodside, W. and de Bruyn, C.M.A., **Heat Transfer in a Moist Clay Soil Science**, Vol. 87, No. 3, March 1959, pp. 166–173, (DBR Research Paper No. 79.)

TOPIC: AIR AND ITS WATER CONTENT

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook – 1976 Systems.**

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **Environmental Control Principles; An Educational Supplement to ASHRAE Handbook of Fundamentals 1972**, New York 1974.

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook – 1977 Fundamentals.** Chapter 13. Measurement and Instruments.

Bulloch, C.E., and Carpenter, J.H., **New Psychrometric Charts in S.I. MetricUnits**, ASHRAE Journal, December 1975, p. 30–33.

Carrier, W.H. and Lindsay, D.C., **The Temperatures of Evaporation of Water into Air**, ASHRAE Transactions, Vol. 46, 1924.

Hedlin, C.P., **Device for Calibrating Electrical Humidity Sensors**, Materials Research and Standards, Vol. 6, No. 1, January 1966.

Hutcheon, N.B., **Humidity and Buildings**, Building Material News, Vol. 20, April 1964. (DBR Technical Paper No. 188.)

Hutcheon, N.B., **Humidity in Canadian Buildings**, Canadian Building Digest No. 1., National Research Council of Canada, January 1960.

Hutcheon, N.B., **The Basic Air–Conditioning Problem**, Canadian Building Digest No. 106, National Research Council of Canada, October 1968.

Proceedings, International Symposium on Humidity and Moisture Migration, Washington, D.C., 1963.

Solvason, K.R., **Air Conditioning Systems**, Canadian Building Code No. 109, National Research Council of Canada, January 1969.

Solvason, K.R., **Air Conditioning Processes**, Canadian Building Digest No. 108, National Research Council of Canada, December 1968.

Wilson, A.G., **Condensation on Inside Window Surfaces**, Canadian Building Digest No. 4, National Research Council of Canada, April 1960.

TOPIC: FLUIDS IN MOTION

Aynsley, R.M., Melbourne, W. and Vickery, B.J., **Architectural Aerodynamics**, Applied Science Publishers Ltd., London 1977.

Dodge, R.A. and Thompson, M.J., **Fluid Mechanics**, McGraw–Hill, New York, 1937.

Hatch, T.F. and Barron–Oronzco, D., **Air Flow in Free Convection Over Heated Bodies**, Transactions. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Vol. 63, 1957, pp. 275–90.

Houghton, E.L. and Carruthers, N.B., **Wind Forces on Buildings and Structures**, Edward Arnold Ltd., London 1976.

Prandtl, L., and Tietjens, O.G., **Fundamentals of Hydro and Aeromechanics**, McGraw–Hill, New York, 1934, p. 259.

White, F.M., **Viscous Fluid Flow**, McGraw–Hill, New York, 1974.

TOPIC: WIND ON BUILDINGS

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook – 1975 Equipment, Atlanta, Georgia.**

Aynsley, R.M., Melbourne, W. and Vickery, B.J., **Architectural Aerodynamics"**, Applied Science Publishers Ltd., London 1977.

Baines, W.D., **Effect of velocity distribution on wind loads and flow patterns on buildings**, Proceedings, International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures. Teddington, U.K., June 1963.

Birkeland, O., **General report on rain penetration**, Norges byggforsknings–instiutt, Oslo, 1966, (Saertrykk, 177).

Dalgliesh, W.A., **Comparison of Model/full–scale wind pressure on a high building**, Journal of Industrial Aerodynamics, Vol. 1, 1975, p. 55–66. (NRCC 15130).

Davenport, A.G. and Dalgliesh, W.A., **A preliminary appraisal of wind loading concepts of the 1970 National Building Code of Canada**, Proceedings, Third International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures. 6–11 September 1971, Tokyo. Part III. p. 441–450. (Technical Paper No. 405, National Research Council of Canada, Ottawa, NRCC 13741).

Davenport, A.G. and Isyumov, N., **The application of the boundary layer wind tunnel to the prediction of wind loading**, Proceedings, International Research Seminar on Wind Effects on Buildings and Structures, Ottawa, Canada, September 1967.

Davenport, A.G., **The spectrum of horizontal gustiness near the ground in high winds**, Quart. J. Roy. Met. Soc., P. 194. 1961.

Davenport, A.G., **Wind Loads on Structures**, National Research Council of Canada, Ottawa. March, 1960, Technical Paper 88. (NCR 5576).

Fourth International Conference on Wind Effects on Building and Structures, September 1975, London, Cambridge University Press, 1976.

Gandemer, J. et Guyot A., **Integration du Phenomene Vent dans la conception dumilieu bati**, Guide methodologique et conseils pratiques. 130 p. Secretariat General du Groupe Central des Villes Nouvelles, Paris. (Diffusion: La Documentation Francaise, 31 quai Voltaire, Paris.)

Givoni, B., **Man, climate and architecture.** Applied Science Publishers, Barking, England. 2nd edition, 1976.

Hougton, E.L. and Carruthers, N.B., **Wind forces on building and structures"**, Edward Arnold, London 1975.

International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures, paper presented at Science Council of Japan, Tokyo, September 1971.

International Seminar on Wind Effects on Buildings and Structures, held at the National Physical Laboratory, Teddington, U.K. June 1963.

International Seminar on Wind Effects on Buildings and Structures, National Research Council of Canada, Ottawa, September 1967.

Jensen, M. and Frank, N., **Model Scale Tests in Turbulent Wind, Part II**, Danish Technical Press, Copenhagen 1965.

Lacy, R.E., **Driving rain maps and the onslaught of rain on buildings**, Building Research Station, Ministry of Technology, Gartson, U.K., 1965.

Leutheusser, H.J., **The effects of wall parapets on the roof pressure coefficients of block type and cylindrical structures**, University of Toronto, Department of Mechanical Engineering, April 1964.

MacDonald, A.J., **Wind loading on buildings**, Applied Science Publishers Ltd. London 1975.

National Research Council of Canada, **Climatic information for building design in Canada, 1977**, Supplement to the National Building Code of Canada, 1985, Ottawa, NRCC No. 23178.

National Research Council of Canada, **National Building Code of Canada**, 1985, Ottawa, (NRCC No. 23174).

National Research Council of Canada, **Commentaries on Part 4 of the National Building Code of Canada, 1977.** Supplement to the National Building Code of Canada, 1985, Ottawa. NRC 23718.

Penwarden, A.D. and Wise, A.F.E., **Wind Environment Around Buildings**, Building Research Establishment Report, Department of the Environment, HMSO, 1975.

Robinson, G. and Baker, M.C., **Wind-driven rain on buildings**, National Research Council of Canada, Ottawa, July 1975, (NRCC 14692).

Rodgers, G.G., Poots, G., Page, J.K. and Pickering W.M., **Theoretical predictions of raindrop impaction on a slab type building**, Building Science, Vol.9, pp. 181–190, Pergamon Press, 1974.

Simiu, E. and Scanlan, R.H., **Wind Effects on Structures**, Wiley, New York 1978.

Van Straaten, J.F., **Thermal performance of buildings**, Applied Science Publishers, Barking, England, 1967.

Williams, G.P., **Annotated bibliography on snow drifting and its control**, National Research Council of Canada, Ottawa, 1974.

TOPIC: AIR LEAKAGE AND VENTILATION

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook 1976 Systems**, Atlanta, Chapter 21 and p. 41.8–41.10.

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook 1975 Equipment**, Atlanta, p. 26.6.

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook 1976 Systems**, Chapter 21.

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook 1978 Applications**, Atlanta, p. 12.7.

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook 1977 Fundamentals**, 1977, Atlanta.

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **Standard 62–81. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**, Atlanta.

Bahnfleth, D.R., Moseley, T.D. and Harris, W.S., **Measurement of Infiltration in Two Residences**, Part I and Part II, American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Transactions, Vol. 63, 1957, p. 439–476.

Barrett, R.E. and Locklin, D.W., **Computer Analysis of Stack Effect in High Rise Buildings**, American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Transactions, Vol. 74, Part II, 1968, p. 155–169.

Coblenz, C.W. and Achenbach, P.R., **Design and Performance of a Portable Infiltration Meter**, American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Transactions, Vol. 63, 1957, p. 477–482.

Coblenz, C.W. and Achenbach, P.R., **Field Measurements of Air Infiltration in Ten Electrically Heated Houses**, American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Transactions, Vol. 69, 1963, p. 358–365.

Dick, J.B., **Measurement of Ventilation Using Tracer Gas Technique**, American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Journal Section, Heating, Piping and Air Conditioning, May 1950, p. 131.

Jordan, R.C., Erickson, G.A. and Leonard, R.R., **Infiltration Measurement in Two Research Houses**, American Society of Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Transactions, Vol. 69, 1963, p. 344–350.

McGuire, J.H. and Tamura, G.T, **Smoke Control in High–Rise Buildings**, Canadian Building Digest No. 134, National Research Council of Canada, Ottawa, February 1971.

Min, T.C., **Winter Infiltration through Swinging Door Entrances in Multi-Storey Buildings**, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Transaction, Vol. 64, 1958, p. 421–446.

Peterson, J.E., **Estimating Air Infiltration into Houses**, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Journal, January 1979, p. 6–60.

Sander, D.M., **Fortran IV Program to Calculate Air Infiltration in Buildings**, National Research Council of Canada, May 1974.

Sasaki, J.R and Wilson, A.G., **Air Leakage Values for Residential Windows**, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Transactions, Vol. 71, Part II, 1965, p. 81.

Sasaki, J.R. and Wilson, A.G., **Window Air Leakage**, Canadian Building Digest No. 25, National Research Council of Canada, Ottawa, January, 1962.

Shaw, C.Y., **A Method for Predicting Air Infiltration Rates for a Tall Building Surrounded by Lower Structures of Uniform Height**, Presented at the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Semi-annual Meeting, Philadephia, February 1979.

Shaw, C.Y. and Tamura, G.T., **The Calculation of Air Infiltration Rates Caused by Wind and Stack Action for Tall Buildings**, ASHRAE Transactions 1977, Vol. 3. Part II.

Shaw, C.Y., Sander, D.M. and Tamura, G.T., **Air Leakage Measurements of the Exterior Walls of Tall Buildings**, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Transactions, Vol. 79, part II, 1973, p. 40–48.

Tamura, G.T., **Computer Analysis of Smoke Movement in Tall Buildings**, ASHRAE Transactions, Vol. 75, Part II, 1969, p. 81.

Tamura, G.T., **Measurement of Air Leakage Characteristics of House Enclosures**, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Transactions, Vol. 81, Part I, 1975, p. 202–211.

Tamura, G.T., **The Calculation of House Infiltration Rates**, Paper presented at the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Semi-annual Meeting, Philadelphia, January 28, 1979.

Tamura, G.T. and Shaw, G.T., **Studies on Exterior Wall Air Tightness and Air Infiltration of Tall Buildings**, ASHRAE Transactions, Vol. 82, Part I, 1976, 122–134.

Tamura, G.T. and Wilson, A.G., **Air Leakage and Pressure Measurements in Two Occupied Houses**, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Transactions, Vol. 70, 1964, p. 110–119.

Tamura, G.T. and Wilson, A.G., **Pressure Differences Caused by Chimney Effect in Three High Buildings, and, Building Pressures Caused by Action and Mechanical Ventilation**, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Transactions, Vol. 73, Part II, 1967.

Tamura, G.T. and Wilson, A.G., **Pressure Differences for a Nine-storey Building as a Result of Chimney Effect and Ventilation System Operation**, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Transactions, Vol. 72, Part I, 1966, p. 180-189.

Wilson, A.G., and Tamura, G.T., **Stack Effect and Building Design**, National Research Council of Canada, Ottawa, November 1968.

Wilson, A.G., **Influence of the House on Chimney Draft**, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Journal, Vol. 2, No. 12, December 1960, p. 63.

TOPIC: WATER AND BUILDINGS

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook-1978 Applications**, Atlanta.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook 1975 Equipment**, Chapter 5, Atlanta.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook 1977 Fundamentals**, Chapters 19 and 20, Atlanta.

Babbit, J.D., **The Diffusion of Water Vapour through Various Building Materials**, Canadian Journal of Research, A, 17:15-32, 1939.

Baker, M.C., **Decay of Dead Wood**, Canadian Building Digest 111, National Research Council of Canada, March 1969.

Baker, M.C., **Designing Wood Roofs to Prevent Decay**, Canadian Building Digest 112, National Research Council of Canada, April 1969.

Baker, M.C., **Drainage from Roofs**, Canadian Building Digest 151, National Research Council of Canada.

Baker, M.C., **Flashings for Membrane Roofing**, Canadian Building Digest 69, National Research Council of Canada, September 1965.

Baker, M.C., **Ice on Roofs**, Canadian Building Digest 89, National Research Council of Canada, May 1967.

Baker, M.C., and Hedlin, C.P., **Protected-Membrane Roofs**, Canadian Building Digest 150, National Research Council of Canada, June 1972.

Baker, M.C. and Hedlin, C.P., **Venting of Flat Roofs**, Canadian Building Digest 176, National Research Council of Canada, May 1967.

Bishop, D., Webster C.D.J. and Herbert M.R.M., **The Performance of Drained Joints**, Paper presented at the CIB Symposium on Weathertight Joints for Walls. Oslo, 1967.

Britton, R.R., **Condensation in Walls and Roofs**, Tech. Paper No. 8, Housing and Home Finance Agency, Washington, D.C., 1948.

Canadian General Standards Board, **Insulating Glass Units**, Standard 12–GP–8M. Ottawa 1975.

Canadian General Standards Board, **Vapour Barrier, Sheet, for Use in Above–Grade Building Construction**, Standard CAN/CGSB–51.33–M80, Ottawa, 1980.

Canadian General Standards Board, **Windows, Extruded Aluminum, Vertical and Horizontal Sliding, Standard Duty**, CGSB–63–GP–3M, Ottawa, December 1976.

Crocker, C.R., **Moisture and Thermal Considerations in Basement Walls**, Canadian Building Digest 161, National Research Council of Canada, 1974.

Dickens, H.B and Hutcheon, N.B, **Moisture Accumulation in Roof Spaces Under Extreme Winter Conditions**, paper presented at RILEM/CIB Symposium on Moisture Problems in Buildings, Helsinki, 1965.

Garden, G.K., **Glazing Design**, Canadian Building Digest 55, National Research Council of Canada, July 1964.

Garden, G.K., **Rain Penetration and its Control**, Canadian Building Digest 40, National Research Council of Canada, April 1963.

Handegord, G.O., **Vapour Barriers in Home Construction**, Canadian Building Digest 9, National Research Council of Canada, September 1960.

Handegord, G.O. and Baker M.C., **Application of Roof Design Principles**, Canadian Building Digest 99, National Research Council of Canada, March 1968.

Hite, S.C. and Dray, J.L., **Research in Home Humidity Control**, Purdue University, Research Series No. 106, November 1948.

Hutcheon, N.B., **Humidified Buildings**, Canadian Building Digest 42, National Research Council of Canada, June 1963.

Isaken, T., **Driving Rain and Joints**, Norwegian Building Research Institute, Rapport 61, Oslo, 1972.

Isaksen, T., **Rain Leakage Tests in Open Joints in Ventilated Claddings**, Paper presented at the CIB Symposium on Weathertight Joints for Walls, Oslo, September 1967.

Isaksen, T., **Rain Leakage Tests on Joints**, Paper presented at the CIB Symposium on Weathertight Joints for Walls. Oslo, September 1967.

Isaksen, T., **Rain Penetration in Joints Influence of Dimensions and Shape of Joints on Rain Penetration**, Paper presented at the RILEM/CIB Symposium on Moisture Problems in Buildings. Helsinki, 1965.

Joy, F.A., Queer, E.R. and Schreiner R.E., **Water Vapour Transfer through Building Materials**, Bulletin 61, Pennsylvania State College, 1948.

Kent, A.D., Handegord, G.O. and Robson, D.R., **A Study of Humidity Variations in Canadian Houses**, American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Transactions, Vol. 72, Part II, p. II.1.1, 1966.

Latta, J.K., **Vapour Barriers: What are They? Are They Effective?**, Canadian Building Digest 175, National Research Council of Canada, March 1967.

Latta, J.K., **Walls, Windows and Roofs for the Canadian Climate**, National Research Council of Canada, NRCC 13487, Ottawa, October 1973.

National Bureau of Standards, **Moisture Condensation in Wall and Roofs**, National Bureau of Standards, Washington, BMS 63, 1940.

Orr, H.W., **Condensation in Electrically Heated Houses**, Paper presented at the 2nd International Symposium on Moisture Problems in Building. September 1974, Rotterdam.

Platts, R.E., **Condensation Control in Stressed–Skin and Sandwich Panels**, Forest Products Journal, Vol. XII, No. 9, September 1962, p. 429–430.

Rain Penetration Investigations, paper presented at CIB Symposium on Weathertight Joints for Walls, Oslo, 1967. CIB Report No. 1, 1963. Also published as Report No. 36, Norwegian Building Research Institute, Oslo, 1963.

Robinson, G., and Baker, M.C., **Wind–Driven Rain and Buildings**, National Research Council of Canada, NRCC 14792, Ottawa, July 1975.

Rodgers, G.G., Poots, G., Page, J.K. and Pickering, W.M., **Theoretical Predictions of Raindrop Impaction on a Slab–Type Building**, Building Science. Vol. 9. p. 181–190. Pergamon Press, 1974.

Rowley, F.B., Algren, A.B. and Lund, C.E., **Condensation within Walls**, ASHRAE Transactions, Vol. 44, 1938, p. 95–130.

Sasaki, J.R., **Measurement of Thermal Break Potential of Solar–Control Sealed Glazing Units**, Specifications Associate, Vol. 16, No. 3, May/June 1974, p. 11.

Sasaki, J.R., **Condensation Performance of Metal–Framed Double Windows with and without Thermal Breaks**, Specifications Associate, Vol. 13, No. 1, January/February 1971, p. 25–31.

Sasaki, J.R., **Effect of Indoor Shading and Heater Configurations on the Surface Temperature Performance of a Sealed, Double–Glazed Window**, Specifications Associate, Vol. 15, No. 3, May/June 1973, p. 12.

Solvason, K.R. and Wilson, A.G., **Factory–Sealed Double–Glazing Units**, Canadian Building Digest 46, National Research Council of Canada, October 1963.

Tamura, G.T., Kuester G.H. and Handegord G.O, **Condensation Problems in Flat Wood-Frame Roofs**, Paper presented at the 2nd International CIB/RILEM Symposium on Moisture Problems in Buildings. September 1974, Rotterdam.

Teesdale, L.V., **Condensation in Walls and Attics**, Journal Royal Architectural Institute of Canada. August 1938, p. 185–188.

Thomas, M.K., **Climatological Atlas of Canada**, National Research Council of Canada, 1953, 253 p.

Turenne, R.G., **Joints in Conventional Bituminous Roofing Systems**, Canadian Building Digest 202, National Research Council of Canada, January 1979.

Turenne, R.G., **Shrinkage of Bituminous Roofing Membranes**, Canadian Building Digest No. 81, National Research Council of Canada, July 1976.

Williams, G.P., **Drainage Around Buildings**, Canadian Building Digest 156, National Research Council of Canada, 1972.

Wilson, A.G., **Air Leakage in Buildings**, Canadian Building Digest 23, National Research Council of Canada, November 1961.

Wilson, A.G., **Condensation Between Panes of Double Windows**, Canadian Building Digest 5, National Research Council of Canada, May 1960.

Wilson, A.G., and Brown, W., **Thermal Characteristics of Double Windows**, Canadian Building Digest 58, National Research Council of Canada, October 1964.

5.4 BUILDING PERFORMANCE EVALUATION DOCUMENT LIST

Documents in this series have been divided into four classes. Class A documents describe the use of documents in the other three classes. Class B is a catalogue of tests which includes an index and cross reference list. Class C documents provide an overview of the three performance areas and summarize the Class D documents in the respective area. Class D documents contain descriptions of performance attributes and detail means of assessing those attributes.

	A1	Project Manager's Guide
	A2	Property Manager's Guide
	B1	Catalogue of Tests
Overviews	C1	Environmental and Energy Performance
	C2	Functional Performance
	C3	Systems and Material Performance
Environmental and Energy Performance	D01	Pollutant Evaluation
	D02	Pollution Migration
	D03	Thermal Environment Evaluation
	D04	Global Evaluation: Energy Performance
	D05	Component Evaluation: Energy Performance
	D06	Equipment and Systems Evaluation: Energy Performance
	D07	Retrofit Evaluation: Energy Performance
	D08	Acoustic Environment Evaluation
	D09	Air Circulation Evaluation
	D10	Illumination Evaluation
	D11	Weather Data Collection
Functional Performance	D20	Record and Archive Analysis
	D21	Plan Annotation
	D22	Focused Interviews
	D23	Questionnaires
	D24	Observation
Systems and Material Performance	D30	Structural Walls and Columns: Condition Survey
	D31	Structural Slabs and Roofs: Condition Survey
	D32	Parking Garages: Condition Survey
	D33	Mechanical Systems Evaluation
	D34	Mechanical Controls Evaluation
	D35	Electrical Systems Evaluation
	D36	Airtightness and Pressure Monitoring
	D37	Measurement of Outdoor Air Supply Rate
	D38	Thermographic Inspections of Building Enclosures
	D39	Thermal Resistance Measurement
	D40	Moisture Content Inspections
	D41	Roofing Systems Evaluation

Travaux publics Canada
Services d'architecture et de génie

Public Works Canada
Architectural and Engineering Services

Série sur l'évaluation du rendement des immeubles

Inspections par thermographie de l'enceinte d'un immeuble

Document D38

Canada

Série sur l'évaluation du rendement des immeubles

Inspections par thermographie de l'enceinte d'un immeuble

Document D38

SAG 1-4:86-47

mars 1988

Le ministre des Travaux publics ne fait aucune recommandation ou n'endosse sous quelque forme que ce soit, exprimée ou tacite, cette publication ou les programmes ou l'information qu'elle contient quant à la qualité, la commercialisabilité, l'adéquation à une fin particulière ou la capacité à produire un résultat quelconque. En aucun cas, le Ministre ou Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, ses employés, fonctionnaires ou agents gouvernementaux ne peuvent être tenus légalement responsables à l'égard de quiconque pour un préjudice direct, indirect ou découlant de l'utilisation de ladite publication ou des programmes ou de l'information y contenus.

Publiés par les Services d'architecture et de génie
Travaux publics Canada

Travaux publics Canada | Public Works Canada

FICHE SIGNALÉTIQUE DE DOCUMENT

1. Titre du document

INSPECTION PAR THERMOGRAPHIE DE L'ENCEINTE D'UN IMMEUBLE

2. Numéro de contrôle
AES/SAG 1-4:86-47

3. Date
Mars 1988

4. Auteur(s)
A. Colantonio

5. No de réf. du conseil

6. Chargé de projet

7. No de la collection technique
D38

8. Nom et adresse de l'organisme rédacteur

Division du rendement des immeubles, T.P.C.
Local C-456, Édifice Sir Charles Tupper
Promenade Riverside, Ottawa, Ontario, K1A 0M2
Téléphone: (613) 998-7830

9. Type de document
Lignes directrices

10. Nombre de pages
57

11. Nom et adresse de l'organisme promoteur

Technologie du design, de la construction et de l'immobilier
Programmes de soutien à la gestion immobilière fédérale
Logement

12. No de dossier de TPC
A4270-16

13. No de projet de TPC
602055

14. Notes

Toutes questions ou commentaires doivent être dirigés à l'organisme rédacteur, se référer à 8 ci-haut.

15. No de publication de ASC

16. ISBN

17. Résumé

Ce document décrit l'utilisation de la technologie thermographique pour examiner la perte de chaleur de l'enveloppe du bâtiment, identifier les endroits endommagés et déterminer les causes et l'étendue de la détérioration de l'enveloppes. Trois étapes d'investigation ont été developpées par TPC: 1) le niveau thermographique qui indique les anomalies thermiques, 2) le niveau thermologique qui identifie les problèmes et qui recommande une action remédiale, 3) le niveau de la science du bâtiment qui détermine la cause et les effets des problèmes reliés au bâtiment et donne des recommandations pour les corriger. L'équipement et les méthodes à être utilisés sont décrits en détail.

18. Diffusion
Exemplaires disponibles:
Centre de documentation
Services d'architecture et de génie
Travaux publics Canada
Édifice Sir Charles Tupper
Promenade Riverside
Ottawa, Ontario K1A 0M2

19. Mots clés

20. No de catalogue du centre de documentation
BP D38b

21. Prix

DPW 2398 (86/09)

TABLE DES MATIÈRES

1.	**INTRODUCTION**	*1*
1.1	But et objectifs	*1*
1.2	Information de base	*3*
1.2.1	Théorie du rayonnement infrarouge	*3*
1.2.2	Théorie de la transmission de la chaleur	*3*
1.2.3	Théorie du déplacement de l'humidité	*4*
1.2.4	Facteurs qui influent sur les différences de pression au travers des enveloppes	*4*
1.2.5	Nature des matériaux de construction	*4*
1.2.6	Types de systèmes imageurs infrarouges	*5*
1.2.7	Caractéristiques et évaluation du matériel thermographique	*6*
2.	**DÉLIMINATION DU SUJET**	*8*
2.1	Cadre général	*8*
2.1.1	Niveaux d'inspection thermographique	*8*
2.1.2	Modes de reconnaissance thermographique	*8*
2.1.3	Phases des études thermographiques	*9*
2.2	Limites des techniques d'évaluation	*9*
2.2.1	Conditions ambiantes idéales	*10*
3.	**MÉTHODOLOGIE**	*12*
3.1	Étape I – Évaluation préliminaire (introduction)	*12*
3.1.1	Description des techniques	*12*
3.1.2	Marche à suivre détaillée	*12*
3.1.3	Évaluation	*13*
3.1.4	Affectation des ressources et calendrier	*13*
3.1.5	Production et conservation des documents de travail	*13*
3.2	Étape II – Techniques simples de mesure	*13*
3.2.1	Description des techniques	*14*
3.2.2	Matériel	*14*
3.2.3	Marche à suivre détaillée	*15*
3.2.4	Évaluation	*17*
3.2.5	Affectation des ressources et calendrier	*17*
3.2.6	Production et conservation des documents de travail	*18*
3.3	Étape III – Monitorage détaillé et spécialisé	*18*
3.3.1	Description des techniques	*19*
3.3.2	Matériel	*20*

3.3.3	Marche à suivre détaillée	22
3.3.4	Évaluation	25
3.3.5	Affectation des ressources et calendrier	27
3.3.6	Production et conservation des documents de travail	28
4.	**RÉFÉRENCES**	31
5.	**ANNEXES**	33
5.1	Termes normalisés et unités de mesure	33
5.2	Normes applicables et organismes de réglementation	38
5.3	Bibliographie	39
5.4	Liste de documents évaluant le rendement des immeubles	57

LISTE DES TABLEAUX

1.2.1	Sensibilité des instruments requise pour les relevés intérieurs	7

1. INTRODUCTION

L'emploi de la thermographie afin de diagnostiquer les pertes de chaleur et la dégradation des enveloppes de bâtiment est une application relativement récente de cette technologie. La technologie infrarouge fait l'objet d'un développement constant depuis une quarantaine d'années. Les premiers systèmes infrarouges furent mis au point à des fins militaires, et plus tard, à des fins médicales. C'est en Suède, vers le milieu des années 60, que l'on a mis au point le premier appareil commercial de thermographie. Ces systèmes ne sont toutefois devenus portatifs que vers le milieu des années 70. Ce n'est que depuis les 16 dernières années que l'on utilise du matériel infrarouge afin de détecter les pertes de chaleur dans les enveloppes de bâtiment.

Au Canada, c'est en 1976 que l'on a utilisé la première fois du matériel thermographique afin de déceler les pertes de chaleur dans les enveloppes de bâtiment. Depuis 1978, Travaux publics Canada (TPC) est à la fine pointe de l'utilisation et du perfectionnement du matériel thermographique aux fins des études-diagnostics des enveloppes de bâtiment. De plus, TPC a joué un rôle crucial dans l'élaboration des techniques infrarouges servant à étudier la circulation de l'air dans les immeubles de bureaux.

On a utilisé les inspections thermographiques afin de déceler les pannes dans les connexions électriques, les réseaux de distribution d'électricité et l'équipement d'aiguillage. Toutefois, le présent document ne porte pas sur ces utilisations de la thermographie. Par ailleurs, TPC a utilisé la thermographie afin d'inspecter des toits de construction classique. Aujourd'hui, cette technique est largement utilisée dans l'industrie et le gouvernement. Le document D41 ("Évaluation des systèmes de couvertures") porte sur la méthode d'inspection des toits. Le présent document ne traite pas de cette méthode particulière.

1.1 BUT ET OBJECTIFS

Les techniques d'utilisation du matériel thermographique pour l'étude diagnostic des enveloppes ont été mises au point afin d'aider les architectes, ingénieurs, chercheurs en bâtiments et gestionnaires à déterminer précisément, et de manière non destructive les problèmes dans les enveloppes des bâtiments. Ces problèmes d'enveloppe se traduisent par une augmentation des frais d'entretien et de la consommation d'énergie s'ils ne sont pas réglés. La thermographie rend donc possible la détection des problèmes potentiels dans les enveloppes de bâtiment, avant même que n'apparaissent des signes visibles de détérioration.

Les inspections thermographiques sont réalisées pendant les différents cycles de la durée de vie d'un immeuble. Les inspections relatives au contrôle de la qualité sont effectuées durant la saison de chauffage, pendant les étapes finales de la construction, avant la livraison de l'immeuble. Ces inspections portent surtout sur la qualité du travail de construction et sur l'intégrité de l'enveloppe. Les résultats sont comparés au sommaire des exigences conceptuelles et aux documents contractuels relatifs à l'enveloppe du bâtiment.

Après la mise en service de l'immeuble, on utilise la thermographie afin de localiser de nouvelles anomalies thermiques et évaluer les possibilités de détérioration dans certaines

parties de l'enveloppe. Les causes d'une détérioration possible sont déterminées par analyse, laquelle est fondée sur les principes de la science du bâtiment. Dans les immeubles anciens, la thermographie sert à déterminer les parties d'enveloppe qui doivent être rénovées si l'on veut réduire les frais d'exploitation et d'entretien du bâtiment. Lorsque les travaux de rénovation sont terminés, les parties rénovées peuvent de nouveau être inspectées aux fins de contrôle de la qualité.

Les inspections thermographiques sont réalisées pour une ou plusieurs des raisons suivantes :

1. Déterminer les parties de l'enveloppe d'un bâtiment par lesquelles les pertes de chaleur sont anormalement élevées, ce qui peut provoquer la détérioration de l'enveloppe.

2. Déterminer les causes des anomalies thermiques et les dommages possibles.

3. Étudier plus à fond les constatations découlant des inspections à l'oeil nu et des renseignements déjà recueillis sur l'enveloppe.

4. Inspecter les parties défectueuses trouvées lors des relevés thermographiques précédents et déterminer la gravité de la détérioration (on devrait utiliser si possible un équipement similaire dans des conditions similaires).

5. Vérifier l'efficacité des rénovations, en comparant les thermographes réalisés avant les travaux et ceux réalisés après.

6. Localiser les sections qui sont représentatives des murs sur lesquels des essais de résistance thermique seront réalisés (on doit s'assurer que les emplacements choisis se trouvent sur des sections thermiquement uniformes de l'enveloppe).

7. Pendant les essais d'infiltrométrie, utiliser des différences de pression maximales produites et contrôlées mécaniquement.

8. Étudier l'influence des différences de pression élevées sur le rendement thermique de l'enveloppe, par analyse du profil thermique autour des points de fuites d'air. Déterminer la relation entre le profil thermique de ces points et les différences de pression.

9. Déterminer l'importance des fuites d'air au travers de l'enveloppe, dans les parties défectueuses connues, et établir une corrélation avec les autres symptômes de dégradation de l'enveloppe et avec les plaintes des occupants.

10. Déterminer l'importance de la pénétration de l'eau dans l'isolant des toits de construction classique.

11. Déterminer la résistance thermique des murs par des méthodes fondées sur la moyenne pondérée en fonction des surfaces et sur l'indice des températures.

12. Trouver les fuites d'air le long de la périphérie des toits et des éléments en saillie, lesquelles sont dues à une mauvaise étanchéité à l'air des joints horizontaux/verticaux.

1.2 INFORMATION DE BASE

Pour réaliser des inspections thermographiques, on doit connaître à fond le matériel et son mode d'emploi, et l'on doit comprendre les principes de base du rayonnement infrarouge. L'utilisation de la thermographie comme outil d'évaluation des enveloppes de bâtiment doit reposer sur une bonne compréhension des principes de la science du bâtiment, notamment :

- la théorie et les mécanismes de transmission de la chaleur;
- la théorie du déplacement de l'humidité;
- les facteurs qui influent sur les différences de pression au travers des enveloppes;
- la nature des matériaux de construction.

1.2.1 Théorie du rayonnement infrarouge

La connaissance de la théorie du rayonnement infrarouge permettra aux opérateurs de capteurs infrarouges de mieux comprendre les possibilités du matériel, de mieux apprécier les facteurs ambiants qui influent sur les images thermiques, et de mieux interpréter les résultats obtenus. La section 11 du Manuel de l'utilisateur de l'appareil Thermovision* 780 contient une introduction à la théorie du rayonnement infrarouge dans le cadre des inspections.

Il importe de comprendre les points suivants : les lois de rayonnement de Planck, Wien et Stefan–Boltzmann; la dépendance spectrale de l'émissivité, de la réflectance, de la transmisison et de l'absorption; ainsi que la variation de l'émissivité en fonction de la longueur d'onde. L'interprétation et l'analyse des images thermographiques sont fondées sur ces principes.

1.2.2 Théorie de la transmission de chaleur

Pour comprendre le phénomène de la transmission de chaleur, il faut connaître les points suivants :

- mécanismes de l'écoulement de chaleur au travers de tous les types d'enveloppe;
- "equation" de part thermique;
- coefficients de résistance et capacitance pour matériau de bâtiment;
- coefficients de résistance thermique des lames d'air et calcul de ces coefficients pour différents types d'enveloppes;
- coefficients des lames d'air;
- cycles de convection par les interstices dans les lames d'air et les matériaux isolants;

* Thermovision est un marque deposée de Agema Infrared Systems.

- effets de pont thermique;
- écoulement de chaleur en deux dimensions;
- modélisation de l'écoulement de chaleur transitoire et cyclique;
- calculs de l'amplitude et du déphasage thermiques; et
- effets de l'humidité et de la pression de l'air sur la transmission de chaleur au travers des matériaux et des enveloppes.

La compréhension des éléments susmentionnés est nécessaire pour pouvoir analyser de façon appropriée les anomalies dans les enveloppes de bâtiment révélées par thermographie. La section 4 contient des références sur ce sujet.

1.2.3 Théorie du déplacement de l'humidité

Il importe de connaître les effets de toutes les formes d'humidité sur le rendement des enveloppes de bâtiment, lorsqu'on utilise la thermographie afin d'analyser les causes des problèmes d'enveloppe. Voici les facteurs qui influent sur le déplacement d'humidité, ainsi que la dégradation des enveloppes pour cause d'humidité :

- pression de vapeur et changement de phase;
- transmission de vapeur d'eau par capillarité;
- pression de l'air;
- gravitation;
- énergie cinétique et diffusion de la vapeur;
- coefficients de transmission de l'eau au travers des matériaux de construction;
- transmission de la vapeur au travers des sections composites;
- effets de l'humidité dans les matériaux;
- gonflement dû au gel;
- effets caractéristiques de l'eau sur divers matériaux; et
- degrés de saturation de divers matériaux.

La section 5.3 contient une bibliographie sur ce sujet.

1.2.4 Facteurs qui influent sur les différences de pression au travers des enveloppes

Trois facteurs influent sur les différences de pression au travers des enveloppes de bâtiments, à savoir :

- pressions exercées par le vent;
- effet de cheminée;
- pressions exercées mécaniquement à l'intérieur des bâtiments.

Au Canada, les fuites d'air représentent la cause la plus courante de détérioration des enveloppes durant la saison de chauffage. Le matériel thermographique permet de détecter les fuites d'air lorsqu'il existe une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur, ainsi qu'une différence de température minimale de 10°C. Il faut également qu'il n'y ait pas d'autres sources de chauffage ou d'autres obstructions qui masquent les pertes de chaleur créées par les fuites d'air au travers du mur extérieur ou du toit. (Les murs rideaux constituent un exemple de pertes de chaleur masquées par des matériaux.) Il est nécessaire de comprendre la dynamique des différences de pressions au travers des enveloppes de bâtiment afin de pouvoir interpréter la gravité et la signification des fuites d'air à des endroits particuliers.

La section 5.3 contient une liste de publications que l'on pourra consulter pour approfondir ce sujet.

1.2.5 Nature des matériaux de construction

Afin de bien comprendre les causes de la détérioration des enveloppes de bâtiment, il importe de connaître la nature des matériaux de construction. Les lois physiques et

chimiques qui expliquent la nature des matériaux permettent de déterminer leur rendement par rapport aux forces auxquelles ils sont soumis dans leur milieu d'utilisation. Compte tenu de l'emploi croissant de matériaux synthétiques (et de leurs tolérances limitées) dans les bâtiments modernes, l'étude des défectuosités dans ces bâtiments repose donc plus que jamais sur les explications scientifiques.

1.2.6 Types de systèmes imageurs infrarouges

Il existe 7 types principaux de systèmes imageurs infrarouges, à savoir :

- thermomètres infrarouges (radiomètres à spot);
- radiomètres thermiques à balayage linéaire;
- radiomètres à balayage par trame et simple élément;
- radiomètres à balayage par trame et éléments multiples;
- instruments à vidicon pyroélectrique;
- instruments à infrarouge et visée directe;
- réseaux infrarouges (actuellement utilisés aux fins militaires seulement).

Lors de l'inspection des bâtiments, on utilise les thermomètres infrarouges afin de mesurer la résistance thermique des éléments et assemblages de construction. Les essais ont démontré que ces appareils ne donnent pas des valeurs précises de la résistance thermique, et par conséquent ne peuvent pas être utilisés pour mesurer la gravité des anomalies thermiques ou pour donner une image thermique précise.

On a utilisé deux types de radiomètres à balayage linéaire pour l'analyse des enveloppes de bâtiments. Le premier consiste en un appareil portatif, et l'autre est utilisé dans les relevés aériens. Chaque type d'appareil donne un balayage linéaire simple en visée rectiligne qui permet d'afficher les énergies rayonnantes émises, transmises et réfléchies le long de l'axe de visée. La version portative superpose à la trace thermique une image visuelle de l'objet. L'appareil pour relevé aérien est fixé sur un véhicule (avion, hélicoptère ou camion) afin d'enregistrer de façon appropriée les images thermiques.

Les radiomètres à balayage et élément simple employés dans les systèmes avec fonction de mesure fonctionnent dans les plages de 3 à 5 microns et de 8 à 14 microns, et ils utilisent des systèmes de balayage par réflexion et réfraction afin de produire une image thermique en deux dimensions. Ces systèmes ont une résolution thermique de 0,1°C à 30°C, et donnent entre 128 et 256 lignes par image, et entre 100 et 250 pixels ou éléments par ligne, pour une cadence de balayage supérieure à 30 images par seconde.

Les radiomètres à balayage et éléments multiples, dont le coût est peu élevé, emploient des réseaux multidétecteurs afin de réduire les contraintes propres aux radiomètres à élément simple, c.-à-d. le compromis que l'on doit faire entre le temps de réponse et le rapport signal/bruit du détecteur. Malheureusement, les réseaux multidétecteurs sont limités au chapitre de l'uniformité, en raison de la difficulté d'accorder entre eux les détecteurs composant le réseau.

Les systèmes à tube vidicon pyroélectrique sont tout simplement des tubes de caméra de télévision. L'objet cible est composé d'une fine couche de matériau pyroélectrique sensible au rayonnement infrarouge. Un faisceau d'électrons contrôlé balaie l'objet visé

et l'image est reconstruite électroniquement. Ces systèmes sont toutefois doublement limités pour l'étude–diagnostic des enveloppes de bâtiment. En premier lieu, la cible pyroélectrique répond uniquement aux changements de température, et par conséquent le radiomètre doit toujours être en déplacement. En second lieu, l'absence d'uniformité dans la couche pyroélectrique se traduit par une réponse spatiale non uniforme. Certains de ces systèmes sont munis de "hacheurs" qui interrompent l'image thermique, ce qui élimine l'obligation de déplacer constamment le radiomètre à balayage. Les travaux de recherche portent actuellement sur la mise au point des techniques de traitement numérique des images électronique afin d'amoindrir ces deux problèmes.

Les instruments infrarouges à visée directe (désignés sous le sigle anglaisFLIR) sont des radiomètres à balayage en temps réel à haute performance qui donnent une excellente résolution spatiale et thermique. La résolution thermique est en effet inférieure à 0,5°C, et les images contiennent 525 lignes, et 400 éléments (pixels) par ligne, pour une cadence de 30 images par seconde. Entièrement compatibles avec les systèmes de télévision, ces instruments sont utilisés à des fins militaires et pour la surveillance, ainsi que pour l'inspection des toits.

Les réseaux infrarouges sont des réseaux de détecteur à deux dimensions. Ces réseaux permettent de constituer un système de visualisation thermique à faible coût; le problème de l'équilibrage des détecteurs dans le réseau peut se traduire par des lacunes au chapitre de l'uniformité spatiale. Ces instruments ne sont pas encore offerts sur le marché.

1.2.7 Caractéristiques et évaluation du matériel thermographique

La norme 101 de l'ASHRAE énonce la nécessité de normaliser les caractéristiques des capteurs utilisés pour diverses applications. Les cinq catégories de caractéristiques pour le matériel sont les suivantes :

- résolution spatiale;
- caractéristiques de bruit;
- propriétés de transmission des signaux;
- propriétés géométriques;
- synthèse des mesures.

Les quatre première catégories sont des mesures objectives de laboratoire. La dernière est plus cruciale pour ce qui est de

L'utilisation qualitative des imageurs infrarouges. En effet, elle comporte l'interprétation des images par les observateurs humains, à partir de l'écran du capteur, et englobe les quatre autres paramètres. Elle est fondée sur la capacité de l'observateur de distinguer un réseau normalisé de barres lorsque la différence de température entre le réseau et l'arrière plan change.

Il est possible de préciser la DTMD (différence de température minimale détectable) pour les capteurs lorsque le type d'anomalies détectées est précisé en termes de ses caractéristiques spatiales et thermiques pour des conditions ambiantes données. Les

normes de l'essai de l'ASHRAE précisent la fréquence spatiale pour l'essai DTMD, à savoir : 0,5 cycles/cm et 0,13 cycles/cm. Les exigences relatives à l'essai DTMD sont ensuite spécifiées en tant que différences de température produites par différents niveaux d'isolation, pour une différence de température donnée entre l'intérieur et l'extérieur, de part et d'autre de l'enveloppe. Elles déterminent la différence qu'il doit y avoir entre les températures intérieure et extérieure pour que l'on puisse observer une anomalie thermique provoquée par deux résistances thermiques différentes sur la surface externe ou interne. Le tableau suivant donne les sensibilités que doivent avoir les radiomètres à balayage pour les relevés faits à l'intérieur.

$T_i - T_e$	DTMD (°C)	
°C	RSI 5 / RSI 15	RSI 10 / RSI 15
10	0,5	0,125
20	1,0	0,250
30	1,5	0,375
40	2,0	0,500
50	2,5	0,625

où : T_i = température intérieure
T_e = température extérieure

TABLEAU 1.2.1 Sensibilité des instruments requise pour les relevés intérieurs (DTMD)

La DTMD pour les relevés extérieurs diffère de celle des relevés intérieurs, en raison de la température ambiante hautement variable, et des différents coefficients de résistance thermiques des lames d'air extérieures.

2. DÉLIMINATION DU SUJET

2.1 CADRE GÉNÉRAL

La méthodologie du stade II porte sur les inspections thermographiques réalisées au moyen de simples radiomètres à balayage sans fonction de mesure afin d'obtenir des résultats qualitatifs. Le stade III porte sur des inspection thermographiques réalisées au moyen de radiomètres à balayage et haute résolution, avec fonction de mesure, afin d'obtenir des résultats quantitatifs.

2.1.1 Niveaux d'inspection thermographique

Les inspections thermographiques mises au point par TPC comportent trois niveaux de complexité, à savoir :

NIVEAU 1 : Thermographie. À ce niveau, on repère les irrégularités thermiques et l'on en interprète les mécanismes responsables. Ces deux activités donnent des résultats qualitatifs et sont effectuées par un thermographiste (un opérateur de système infrarouge qualifié ayant une connaissance paraprofessionnelle de la science du bâtiment).

NIVEAU 2 : Thermologie. À ce niveau on interprète l'importance des problèmes par rapport à la construction et l'on recommande des mesures collectives pertinentes. Ces deux activités donnent des résultats quantitatifs et sont effectuées par un thermologiste (opérateur de système infrarouge qualifié ayant reçu une formation professionnelle en science du bâtiment).

NIVEAU 3 : Science du bâtiment. À ce niveau, on interprète les causes et effets des problèmes des bâtiments et l'on recommande des solutions détaillées afin de corriger les problèmes existants et éviter d'autres problèmes à l'avenir. Toutes ces activités produisent des résultats quantitatifs et sont effectués par un spécialiste du bâtiment (opérateur de système infrarouge qualifié possédant une connaissance spécialisée en science du bâtiment).

2.1.2 Modes de reconnaissance thermographique

Les méthodes d'étude mises au point par Travaux publics Canada consistent en trois modes de reconnaissance : aérienne, au sol et intérieure. Selon la nature du problème du bâtiment et les besoins du client, on peut effectuer une ou plusieurs de ces reconnaissances.

MODE DE RECONNAISSANCE 1 : **Aérienne.** Un relevé aérien peut livrer suffisamment de données thermographiques pour permettre au thermographiste qualifié de faire rapidement une évaluation générale de plusieurs bâtiments et de noter l'état thermique de chaque enveloppe. On notera aussi, lors de cette étude, les endroits où l'on décèle des différences importantes de température qui nécessiteront une étude plus poussée.

MODE DE RECONNAISSANCE 2 : **Au sol.** Un relevé extérieur au sol permet une étude plus détaillée des parties identifiées lors d'une reconnaissance

MODE DE RECONNAISSANCE 3 : **Intérieure.** Une étude détaillée effectuée à l'intérieur d'un bâtiment permet d'obtenir les données nécessaires à des évaluations qualitatives et quantitatives précises. On utilise des instruments pour l'analyse du bâtiment et l'on examine en détail l'état des matériaux.

2.1.3 Phases des études thermographiques

Toute étude thermographique comporte quatre phases :

Phase 1. Détermination des besoins et du problème.

Phase 2. Étude–diagnostic du problème et détermination des mécanismes responsable (relevé thermographique – modes de reconnaissance 1,2 et 3).

Phase 3. Interprétation des problèmes (relevé thermologique – mode de reconnaissance 1, 2 et 3).

Phase 4. Possibilités et solutions (études thermologique et scientifiques – modes de reconnaissance 1, 2 et 3).

2.2 LIMITES DE LA TECHNIQUE D'ÉVALUATION

À la fin des années 70, TPC a fait l'essai de divers types de matériels infrarouges. De ces essais, il est ressorti que le matériel Thermovision offrait le meilleur rendement global pour l'étude des bâtiments. Les autres matériels mis à l'essai ne convenaient pas au climat canadien, ou encore étaient déficients sous divers aspects : facilité de manipulation, flexibilité, précision ou polyvalence.

Les appareils utilisés pour les travaux de reconnaissance–diagnostic par TPC comprennent les appareils Thermovision 720, 750 et 782. En outre, l'appareil Superviewer a été utilisé conjointement au Thermovision 782 lors de relevés aériens. Tous ces appareils donnent une image thermique monochromatique en temps réel affichée sur écran de visualisation. Ils sont reliés à des enregistreurs vidéo et numériques en vue de la lecture et de l'analyse ultérieures.

Les enregistreurs vidéo sont des appareils standard, ou encore des magnétoscopes portatifs modifiés, de type VHS, qui permettent d'enregistrer et de lire les informations électroniques obtenues directement des systèmes Thermovision ou au moyen d'un convertisseur de balayage Viewscan.

Grâce au convertisseur de balayage Viewscan* et aux périphériques Imagpac*,on obtient sur le terrain des enregistrements numériques, lesquels sont par la suite transférés sur micro–ordinateur aux fins d'analyse et de stockage des données. On élimine ainsi la nécessité de faire défiler et numériser les données au bureau.

Les essais de laboratoire ont démontré que –20°C est la température minimale à laquelle on peut utiliser le matériel thermographique à l'extérieur pour les relevés sur le

* Viewscan et Imagpac sont des marques déposées de Viewscan Limitée.

terrain. À ces basses températures, le courant fourni par la pile pour le fonctionnement du Thermovision et du magnétoscope est grandement réduit.

Par ailleurs, l'étalonnage du matériel thermographique aux basses températures s'est avéré très difficile. Des essais ont démontré que des courbes d'étalonnage obtenues pour le matériel aux températures normales peuvent subir une modification allant de 25 à 40% lorsque le matériel est utilisé dans des températures au voisinage de −20°C. Lorsque l'extérieur est à ces températures, les études faites à l'intérieur donnent des résultats plus fiables, et par conséquent, on devrait y recourir autant que possible.

En raison de la nature transitoire de la dynamique thermique des enveloppes de bâtiments, il est extrêmement difficile de calculer précisément les résistances thermiques au moyen du matériel infrarouge. L'indice de température (c.–à–d. la méthode qui permet de calculer les résistances thermiques à partir des températures ambiantes intérieure et extérieure, et de la température de la surface intérieure ou extérieure) est précis uniquement dans des conditions de régime stable, c.–à–d. pour un écoulement de chaleur constant. Ces conditions existent rarement dans l'enveloppe d'un bâtiment pendant la saison de chauffage.

Les revêtements extérieurs construits selon le principe de l'écran antiintempéries masquent l'écoulement normal de chaleur (par conduction, rayonnement ou convection) au travers de l'enveloppe. Il est donc difficile de déterminer les caractéristiques réelles des pertes de chaleur par l'enveloppe au moyen des relevés aériens et des études réalisées au sol à l'extérieur. Dans de telles circonstances, on recommande de recourir aux études par l'intérieur.

Afin de déterminer les températures de surface de différents matériaux, il faut d'abord établir le degré d'émissivité exact pour les matériaux observés. En effet, si l'on observe des matériaux hautement réfléchissant ou des matériaux dont on ignore le degré d'émissivité, il est extrêmement difficile de déterminer les températures de surface et les résistances thermiques.

L'inspection des toits est recommandée uniquement dans le cas des toits de construction classique, renfermant un isolant absorbant sous la membrane hydrofuge. Dans le cas des toits conçus avec membrane inversée et isolant non absorbant, les relevés thermographiques n'indiquent pas s'il y a absorption d'eau dans la membrane du toit. Par conséquent, on ne recommande pas l'utilisation des techniques infrarouges pour l'inspection de ce type de toit.

2.2.1 Conditions ambiantes idéales

Pour que les études thermographiques soient fiables, il est recommandé de les réaliser dans les conditions ambiantes suivantes :

1. Il doit y avoir une différence minimale de 10°C entre les températures ambiantes intérieure et extérieure pendant une période de 8 heures avant l'étude.

2. La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur ne doit pas varier de plus de 30% pendant une période de 12 heures, avant l'étude.

3. Le bâtiment ne devrait pas être exposé directement au rayonnement solaire pendant une période d'environ 3 heures dans le cas des constructions légères (ossature de bois et isolant en nattes), et pendant environ 8 heures dans le cas des constructions à parement de maçonnerie. On peut réduire ces durées en proportion de l'intensité décroissante de la lumière solaire pendant l'après-midi précédant l'étude.

4. La surface ne devrait pas avoir été mouillée par quelque forme de précipitation que ce soit pendant au moins les 12 heures précédant l'étude. On devrait vérifier à l'oeil nu les surfaces qui ont été mouillées avant cette période, afin de s'assurer qu'elles sont sèches.

5. Pendant une étude aérienne ou au sol, il ne devrait y avoir aucune précipitation de quelque nature que ce soit.

6. Les vents devraient idéalement avoir une vélocité inférieure à 12 km/h.Toutefois, on peut recueillir des données même si les vents atteignent 25 km/h, pourvu que l'on possède suffisamment de données scientifiques sur les charges dues au vent et qu'on les applique aux résultats.

7. Si on inspecte un bâtiment afin de déceler les fuites d'air, on conseille de pressuriser positivement le bâtiment si l'on fait l'étude de l'extérieur, et de le pressuriser négativement si l'on fait l'étude de l'intérieur.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 ÉTAPE I – ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE (INTRODUCTION)

3.1.1 Description des techniques

Avant d'effectuer l'inspection thermographique d'un bâtiment, on doit demander au client les documents contractuels (y compris les dessins de travail, les cahiers des charges, les addenda et les documents de modification) pour le bâtiment original et tous les travaux de rénovation ultérieurs, aux fins d'examen et d'analyse. Si on peut obtenir des photographies et des rapports sur le bâtiment, ceux–ci seront également examinés et analysés.

Cette analyse porte sur les mécanismes qui influencent le rendement de l'enveloppe du bâtiment, selon les points discutés aux sections 1.2.2 à 1.2.5 inclusivement. Si on peut obtenir des rapports, ceux–ci seront examinés et utilisés afin de faire porter les études thermographiques sur les problèmes d'enveloppe précédemment identifiés, ainsi que sur les nouvelles parties qui présentent des problèmes présumés.

On s'adressera au gérant du bâtiment et à l'ingénieur afin d'obtenir des informations sur l'exploitation et l'entretien de l'enveloppe du bâtiment,et sur son rendement. Ces informations permettent de déterminer dans quelle mesure les conditions d'exploitation influent sur la gravité des problèmes d'enveloppe que l'on a trouvés, et vice versa.

On devrait examiner les documents suivants qui portent sur la construction et l'exploitation du bâtiment :

- dessins de travail architecturaux, électriques et mécaniques;
- cahiers des charges architecturaux, électriques et mécaniques;
- addenda aux documents contractuels originaux;
- documents de modifications attachés aux documents contractuels originaux;
- photographie sur l'avancement des travaux;
- rapports sur l'avancement des travaux (à cette fin, s'adresser à l'architecte ou au gestionnaire de projet);
- rapports d'études thermographiques antérieures.

On devrait également examiner les documents similaires qui touchent les travaux de réfection effectués sur la construction originale.

La visite des lieux permet d'examiner le bâtiment à la lumière des principes discutés aux sections 1.2.3 et 1.2.4. Ce type d'examen est réalisé conjointement à l'inspection thermographique.

En outre, on pourrait obtenir un complément d'information en analysant le mode d'occupation et l'utilisation du bâtiment, au moyen d'entrevues avec les ingénieurs et les gestionnaires du bâtiment. Consulter le document D22 ("Entrevues centrées") pour connaître la méthode employée à cet effet.

3.1.2 Marche à suivre détaillée

L'analyse des documents disponibles fait appel aux connaissances les plus récentes en science du bâtiment. On examine les dessins afin de déterminer les points d'intérêt

pour les inspections thermographiques et afin de comprendre les raisons des pertes de chaleur excessives. Par ailleurs, on étudie le cahier des charges afin de déterminer si les matériaux appropriés ont été utilisés lors de la construction et afin d'expliquer les défectuosités existantes. Quant aux addenda et aux documents de modification, ils permettent de vérifier le bâtiment sur place. Les rapports et les photographies sur l'avancement des travaux permettent de déterminer la façon dont ils ont été réalisés et d'expliquer les défectuosités existantes.

L'analyse des documents contractuels et des plans existants s'effectue en trois étapes :

- étude initiale et examen;
- examen détaillé après les études thermographiques;
- analyse détaillée aux fins de recommandation.

3.1.3 Évaluation

L'analyse et l'évaluation des documents fait appel aux principes les plus récents en science du bâtiment. Les sections 1.2.2 à 1.2.5 contiennent une brève liste de ces principes.

3.1.4 Affectation des ressources et calendrier

Les activités d'analyse sont variables et dépendant du bâtiment qui fait l'objet de l'étude. Voici la durée approximative de chaque activité :

-	demandes et obtention de document :	2 à 5 jours
-	examen initial des plans et des cahiers des charges :	2 à 5 jours
-	analyse approfondie des documents :	5 à 15 jours
-	élaboration de recommandations :	2 à 15 jours
-	rédaction du rapport :	2 à 10 jours

Ces activités d'analyse devraient être confiées à un architecte professionnel ou à un ingénieur possédant de bonnes connaissances en science du bâtiment.

3.1.5 Production et conservation des documents de travail

L'analyse des documents existants et du mode de construction est documentée dans le rapport thermographique. Il est préférable d'allouer une section distincte à l'analyse des documents contractuels. Cette analyse est ensuite mise en corrélation avec les conclusions des inspections thermographiques et elle sert à l'élaboration des recommandations. Le rapport doit contenir la reproduction des plans, sections et élévations pertinents. On devrait conserver des copies des documents contractuels en prévision des demandes et des études futures.

3.2 ÉTAPE II – TECHNIQUES SIMPLES DE MESURE

Le terme 'instrument simple' fait référence à la facilité d'emploi et à la portabilité du matériel sur le terrain. Le coût du matériel n'est pas pris en considération ici.

Les inspections réalisées au moyen de matériel infrarouge simple sont limitées au niveau 1 (études thermographiques). Elles sont réalisées lors de relevés faits au sol et à l'intérieur, dans le cadre des phases 1 et 2 (voir la section 2.1.3).

Les inspections thermographiques au moyen d'instruments simples servent à faire l'analyse qualitative préliminaire de l'enveloppe des bâtiments. Les limitations dues aux conditions ambiantes, discutées aux sections 2.2 et 2.2.1, s'appliquent aux relevés intérieurs et au sol.

3.2.1 Description des techniques

Les systèmes infrarouges utilisés pour ce niveau d'étude comprennent les radiomètres à spot et les radiomètres à balayage et miroir avec éléments multiples, sans fonction de mesure. Les radiomètres à spot et les thermomètres numériques, munis de sondes de surface, permettent d'obtenir les températures de surface pour des endroits précis. On utilise le matériel thermographique afin d'observer le profil thermique des pertes de chaleur, tant de l'intérieur que de l'extérieur du bâtiment. On prend note des conditions ambiantes, et l'on réalise sur place les thermogrammes des anomalies thermiques importantes qui pourraient nécessiter une inspection approfondie.

L'interprétation des images thermiques est fondée sur de nombreuses hypothèses qui influent sur la validité de l'analyse. On trouvera à la section 3.5 de Standard ONGC(F) 149–GP–2MP, Manuel de l'analyse thermographique des envelopes de bâtiments, une description des anomalies thermiques décelables par ces instruments. Les sections 1.2.1, 1.2.2, 1.2.3, 1.2.4 et 1.2.5 traitent des principes qui jouent un rôle dans les mécanismes de déperdition de chaleur et les profils thermiques. En se fondant sur ces principes, l'analyse des thermogrammes permet de déterminer les causes possibles des pertes de chaleur anormalement élevées dans certaines parties de l'enveloppe.

L'inspection visuelle des lieux et l'analyse des documents modifiés permettent de corroborer et de vérifier les causes possibles des anomalies thermiques dans l'enveloppe du bâtiment.

Les recommandations portent sur l'état de l'enveloppe du bâtiment dans l'optique d'un meilleur rendement thermique et d'une détérioration possible. Elles indiquent les éléments qui devraient faire l'objet d'une étude plus approfondie.

3.2.2 Matériel

Pour ce niveau d'étude, TPC a utilisent jusqu'à présent les instruments infrarouges suivants :

- radiomètre à spot TPT–80;
- radiomètre à balayage infrarouge Thermovision 110, avec étui et piles rechargeables au nickel–cadmium;
- thermomètre numérique.

Le système infrarouge Thermovision 110 se transporte facilement et constitue un outil idéal pour la localisation préliminaire des pertes de chaleur au travers de l'enveloppe d'un bâtiment. Ce système comporte un radiomètre à balayage et miroir avec éléments multiples, sans fonction de mesure. L'image thermique est obtenue par réglage des commandes de mise au foyer, de contraste et d'intensité. Bien que ces instruments produisent une image thermique précise de la radiance de la surface, on ne peut en

déduire des mesures de la température apparente du corps noir. Les images obtenues sont de nature qualitative et ne peuvent pas faire l'objet de mesures, à moins que l'on utilise avec celle-ci d'autres instruments (thermomètres numériques à contact ou radiomètres à spot).

Pour obtenir une copie papier de l'image thermique, on fixe sur Thermovision 110 un appareil photographique Polaroid. Cependant, ce système ne peut pas être interfacé avec un magnétoscope.

Les radiomètres à spot permettent de mesurer la température absolue d'un point particulier. Utilisés conjointement avec des instruments infrarouges sans fonction de mesure, ils sont utiles car ils donnent la température réelle de points particuliers sur les images thermiques. Pour étalonner ce type d'appareil, on doit le pointer vers une surface de température et d'émissivité connues, et le régler de telle sorte qu'il donne la bonne température radiométrique de la surface de référence.

Le radiomètre à spot mesure la température équivalente du corps noir pour une surface de petite dimension. C'est un appareil peut encombrant, portable, léger et ayant la forme d'un revolver. L'instrument capte tout le rayonnement infrarouge émis par la surface dans une plage de longueur d'onde donnée, y compris les rayonnements intrinsèque et réfléchi. L'appareil est étalonné afin de donner les températures de radiance apparente.

Les essais réalisés par TPC ont démontré que les radiomètres à spot, tout comme les imageurs thermiques, ne donnent pas des valeurs précises de la résistance thermique lorsque l'on emploie l'indice de température. Les techniciens qui utilisent seulement ces appareils afin de déterminer les valeurs R des enveloppes ont eu de la difficulté à évaluer l'étendue et la gravité des anomalies thermiques dans les enveloppes de bâtiment.

Il existe sur le marché d'autres types de matériel thermographique sans fonction de mesure, utilisables pour ce niveau d'étude, à savoir :

- Hughes Probeye 664, Hughes Aircraft Company;
- Hughes Probeye 650, Hughes Aircraft Company;
- Secovision 220, SECO Technologies;
- I.S.I. Videotherm 84, I.S.I. Group;
- Systèmes à vidicon pyroélectrique (divers fournisseurs).

3.2.3 Marche à suivre détaillée

a) Analyse des dessins modifiés et des rapports d'inspection antérieurs

On devrait examiner les rapports antérieurs, si on peut se les procurer. Ces analyses d'études thermographiques portent sur des problèmes d'enveloppe précédemment identifiés et sur des problèmes présumés. S'il n'y a pas eu d'analyse antérieure, on devrait analyser les documents modifiés, les dessins d'atelier, les cahiers des charges et tous les documents et modifications pertinentes, conformément aux indications du stade I (Évaluation préliminaire).

Si des inspections thermographiques ont été réalisées antérieurement, les bandes thermographiques et les rapports aideront à déterminer les parties défectueuses de l'enveloppe. On s'adressera au gérant du bâtiment et à l'ingénieur afin d'obtenir des informations sur l'exploitation et l'entretien du bâtiment et leurs incidences sur l'enveloppe. Ces informations serviront à déterminer dans quelle mesure les conditions d'exploitation ont contribué à l'apparition des problèmes dans l'enveloppe.

b) Méthodes d'inspection

Avant de procéder à l'étude thermographique, on doit examiner et vérifier le matériel afin de s'assurer qu'il est en bon état. Les réglages et les réparations nécessaires doivent être effectués. Pour plus d'information au sujet de la vérification, de la préparation et de l'emploi de l'instrument 110 Thermovision, consulter le guide de l'utilisateur.

Pour ce niveau d'étude, les inspections portent principalement sur la détermination qualitative du profil thermique, lequel indique les anomalies thermiques dues à la conduction, à la convection et au rayonnement. Les pertes de chaleur anormales qui produisent des profils thermiques caractéristiques sont attribuables aux causes suivantes :

- effet de pont thermique;
- cycles de convection par les interstices;
- fuites d'air au travers de l'enveloppe;
- circulation de l'humidité due à la condensation, à la pénétration de l'eau ou l'accumulation de glace.

La reconnaissance des profils thermiques infrarouges est discutée dans la section 3.5 de la norme CAN/ONGC (F) 149–GP–2MP, (Manuel d'analyse thermographique des enveloppes de bâtiment), 1986.

Au cours de l'étude thermographique, on prend note des conditions ambiantes à l'intérieur et à l'extérieur. Ces données permettent par la suite d'établir la gravité relative des anomalies thermiques. Les informations suivantes sont nécessaires :

- température de bulbe sèche à l'intérieur et à l'extérieur;
- humidité relative à l'intérieur et à l'extérieur;
- différence de pression approximative au travers de l'enveloppe, pendant l'étude thermographique.

On détermine la différence de pression au moyen d'anémomètres à tube pilote, tandis que la température de bulbe sèche et l'humidité relative s'obtiennent au moyen d'un appareil numérique de mesure des températures et de l'humidité.

Les conditions ambiantes idéales pour les inspections thermographiques sont présentées à la section 2.2.1. Lors du relevé, la différence minimale de température doit être de 10°C. La température extérieure doit être supérieure à −20°C si le relevé est réalisé à l'extérieur. Le système de chauffage du bâtiment doit cesser de fonctionner ou être réglé à la valeur la plus faible pendant au moins 30 minutes avant le relevé de façon à réduire au minimum les fluctuations de température entre la surface et l'air, lesquelles sont provoquées par le fonctionnement cyclique du système de chauffage du bâtiment.

Si l'on utilise un radiomètre à spot, on suggère de fermer les stores des fenêtres afin de réduire l'échange de rayonnement entre la surface extérieure des fenêtres et la surface intérieure des pièces. Les températures de surface des fenêtres ne sont habituellement pas mesurées avec les radiomètres à spot, car il est difficile de les régler en fonction de l'émissivité. Pour déterminer précisément la température de la surface qui fait l'objet de la mesure, on doit prendre les lectures le plus près possible de la surface.

3.2.4 Évaluation

Les images qualitatives obtenues au moyen du matériel thermographique sans fonction de mesure indiquent l'état général de l'enveloppe, ce qui permet de localiser les endroits où les pertes de chaleur sont anormales. Comme l'image ne peut pas être mise en corrélation avec un corps noir de référence précis, il est impossible de mesurer les températures. En outre,ce matériel ne peut pas être interfacé avec des instruments enregistreurs. On ne peut donc copier les images que par des moyens photographiques. Les épreuves photographiques sont incluses dans les rapports d'inspection.

L'analyse et la détermination des mécanismes responsables des pertes de chaleur sont fondées sur les observations à l'oeil nu, sur l'application des principes de la science du bâtiment et sur les images thermiques. Le lecteur trouvera une discussion de la reconnaissance des profils thermiques infrarouges dans le chapitre 3 de la norme CAN/ONGC (F) 149–GP–2MP, "Manuel d'analyse thermographique des enveloppes de bâtiment", 1986.

3.2.5 Affectation des ressources et calendrier

L'exploitation et l'entretien de ces systèmes sont relativement simples et prennent peu de temps en plus de ce qui est requis pour l'examen des murs à l'oeil nu. Même si une seule personne peut transporter le matériel, une seconde personne devrait accompagner le thermographiste, afin de l'aider et de prendre des notes au cours de l'inspection.

L'inspection thermique préliminaire devrait durer au plus entre quatre et dix heures, tout dépendant des dimensions du bâtiment, de sa configuration, de sa complexité et de la facilité d'accès. La reproduction photographique des images thermiques prend un peu plus de temps et représente des frais additionnels. Les préparatifs de l'inspection durent habituellement de deux à trois heures. Les images thermiques peuvent ensuite être analysées sur lieu et au bureau. Cette activité peut durer d'une à deux journées. La production des rapports prend de deux à dix jours, selon leur complexité et leur portée.

En règle générale, ce type d'étude vise à déterminer les problèmes. Les conclusions sont présentées dans le rapport. Les recommandations précises sont laissées aux inspections thermographiques poussées, lesquelles sont réalisées au moyen d'appareils thermographiques avec fonction de mesure.

3.2.6 Production et conservation des documents de travail

Les résultats et l'analyse de l'étude devraient être consignés, et les thermogrammes inclus dans les rapports. De plus, on devrait utiliser les données tirées des documents modifiés et les photographies afin d'expliquer les anomalies thermiques trouvées dans l'enveloppe.

La section 3.3.6 présente le format mis au point par la DRI pour les rapports des études thermographiques.

Les feuilles de données utilisées pour les inspections thermographiques avec instruments sans fonction de mesure doivent comprendre ce qui suit :

- rapport d'étude portant sur le rendement de l'enveloppe du bâtiment;
- filmographie de l'examen du bâtiment;
- données de l'étude thermographique.

Pour plus d'information sur ces formulaires de travail, consulter la section 3.3.6 du présent document.

3.3 ÉTAPE III – MONITORAGE DÉTAILLÉ ET SPÉCIALISÉ

Rendu à ce degré de complexité, les inspections peuvent être de niveau 1 (thermographie), de niveau 2 (thermologie) ou de niveau 3 (science du bâtiment). Elles peuvent être réalisées selon les différents modes de reconnaissance thermographique (aérienne, au sol, intérieure) et peuvent faire appel aux quatre phases des inspections thermographiques. À ce sujet, consulter les sections 2.1.1, 2.1.2 et 2.1.3.

La nature de l'inspection dépendra des conditions ambiantes et du mode d'exploitation du bâtiment pendant l'étude. En outre, elle dépendra de la facilité avec laquelle l'inspection peut être réalisée de l'intérieur ou de l'extérieur. Dans le cas des bâtiments qui comportent de nombreuses pièces fermées ou dont la surface intérieure des murs périphériques est obstruée, il est plus facile de réaliser une inspection à partir de l'extérieur.

Les relevés thermographique aériens sont rentables lorsqu'il faut étudier un certain nombre de bâtiments dans un court laps de temps, ou lorsqu'un bâtiment particulier est de forme complexe et qu'il est difficile d'accéder à toutes les surfaces extérieures à partir du sol. Si le bâtiment visé est entouré par d'autres bâtiments, les relevés aériens ne donnent pas toujours de bonnes images des murs du bâtiment. Pour les relevés aériens, on utilise habituellement des hélicoptères munis de portes arrières ouvrantes,lesquelles sont pourvues de radiomètre à balayage par trame et à élément

simple, pouvant mesurer les températures. Les contraintes dues au milieu ambiant (discutées aux sections 2.2 et 2.2.1) s'appliquent aux trois modes de reconnaissance thermographique.

On emploie également des avions munis de radiomètres à balayage linéaire pour réaliser les inspections thermographiques sans fonction de mesure (en règle générale, ce type de relevés sert uniquement à l'inspection des toits).

3.3.1 Description des techniques

a) Inspection pendant les essais d'infiltrométrie

Pendant qu'on effectue des essais d'infiltrométrie par gaz traceur, on inspecte les surfaces intérieures de l'enveloppe au moyen de radiomètres à balayage fonctionnant dans l'infrarouge. Ces inspections détectent les profils thermiques globaux de l'enveloppe. Compte tenu des contraintes de temps, il est impossible d'étudier en détail les surfaces intérieures cachées de l'enveloppe.

Dans les bâtiments modernes, la détérioration de l'enveloppe est principalement attribuable aux fuites d'air. En créant artificiellement une différence de pression élevée et en réalisant simultanément une inspection thermographique, on peut mieux détecter les anomalies associées aux fuites d'air, ainsi que les profils thermiques provoqués par la conduction, la convection et l'humidité. Dans des conditions normales de pression, les profils thermiques attribuables aux fuites d'air sont moins évidents, et sont parfois masqués comme c'est le cas dans les murs avec membranes anti-intempéries. C'est principalement pour ces raisons que l'on réalise les inspections thermographiques pendant les essais d'infiltrométrie (essais de fuites d'air).

Lors de l'essai d'infiltrométrie, l'inspection thermographique intérieure est réalisée pendant que le bâtiment subit une dépressurisation maximale, laquelle est créée mécaniquement. L'air qui s'écoule de l'extérieur vers l'intérieur provoque une grande différence de température à la surface des murs intérieurs. Par conséquent, les profils des pertes de chaleur provoqués par les fuites d'air sont plus visibles sur les surfaces intérieures.

Lors des essais d'infiltrométrie réalisés par temps froid, la dépressurisation répartit les infiltrations dans l'enveloppe de façon plus uniforme que ne le font les techniques de pressurisation qui utilisent les systèmes de chauffage, climatisation et refroidissement du bâtiment, ou encore un ventilateur extérieur séparé et étalonné. Cette technique réduit les risques de gel des gicleurs, des tuyaux de chauffage et de plomberie, et des ventilateurs et grilles des systèmes mécaniques.

b) Inspections approfondies

Ce type d'inspection (réalisé si possible sous des différences de pression élevées) devrait idéalement être précédé d'une inspection préliminaire générale. S'il n'y a pas eu d'inspection préaliminaire, on réalisera une

évaluation générale en même temps que l'inspection détaillée. Celle-ci est réalisée de l'extérieur lorsque le bâtiment est sous une pression positive maximale, et de l'intérieur lorsque le bâtiment est sous une pression négative maximale. La pression est réglée au moyen des systèmes mécaniques du bâtiment.

Les inspections thermographiques ultérieures doivent porter sur les éléments suivants :

1. On examinera les endroits non inspectés précédemment, y compris les murs extérieurs et les parties de mur au-dessus des plafonds suspendus, derrière les convecteurs périphériques, ainsi que toutes autres surfaces intérieures cachées. L'examen de ces surfaces prend beaucoup de temps. Habituellement, on examine seulement une section représentative d'un mur afin d'avoir une idée générale de son rendement thermique.

2. On examine les parties de l'enveloppe qui peuvent présenter un problème possible, selon ce qu'aura indiqué l'analyse des documents architecturaux et l'inspection à l'oeil nu.

3. Il y a lieu de demander un complément d'information sur l'utilité des travaux de rénovation. Les rapports des inspections thermographiques antérieures, s'il y en a eu, peuvent servir d'outil de comparaison.

4. On demandera des informations sur le degré de détérioration des parties de l'enveloppe qui ont été jugées défectueuses lors des inspections thermographiques antérieures. Un examen à l'oeil nu permettra d'obtenir des renseignements qui étayeront les données thermographiques. La comparaison des images thermographiques est une tâche complexe, et elle s'avère parfois difficile si les conditions ambiantes varient d'un relevé à l'autre.

5. L'inspection devra également porter sur les parties de l'enveloppe jugées défectueuses par les occupants du bâtiment et par le personnel affecté à son exploitation et son entretien.

6. Enfin, on inspectera les parties de l'enveloppe qui peuvent présenter des problèmes, selon ce qui a été déterminé par d'autres techniques lors de l'étude initiale.

3.3.2 Matériel

a) Inspection pendant les essais d'infiltrométrie

Voici la liste du matériel utilisé pour les inspections thermographiques réalisées pendant les essais d'infiltrométrie.

- Thermovision 782, 750, infrarouge court et infrarouge long, y compris des lentilles de 7°, 12°, 20° et 40°;
- magnétoscope modifié Panasonic 8410, complet avec microphone électrostatique Sony et écouteur mono pour l'enregistrement des images thermographiques;

- magnétoscope Panasonic 8420, avec microphone électrostatique Sony et écouteur mono pour l'enregistrement des images thermographiques par balayage converti;
- convertisseur de balayage Viewscan et enregistreur numérique Imagpac avec cartouches-mémoires à bulles de 1,2 MB;
- tout le câblage nécessaire à l'interconnexion des divers appareils électroniques;
- poignée-pistolet et sangles pour les inspections dans les endroits inaccessibles;
- piles à gel rechargeables pour les instruments Thermovision et Viewscan;
- piles rechargeables Panasonic pour les magnétoscopes;
- bouteilles Dewar de 1 et 10 litres pour le stockage de l'azote liquide;
- bandes vidéo VHS de deux heures;
- thermomètres numériques;
- blocs-notes, stylos, lampes de poche, rubans à mesurer, piles de rechange pour les lampes de poche, chargeurs pour les piles à gel et pour les piles du magnétoscope, tourne-vis (différents types pour la dépose des couvercles de convecteur), crayons à fumée, miroirs, et autres accessoires pour la collecte des données et l'enregistrement;
- cartes TPC pour le Thermovision, avec trépied à tête pivotante pour le radiomètre à balayage;
- escabeau en aluminium de trois mètres permettant d'accéder aux espaces au-dessus des plafonds suspendus;
- cordons de rallonge avec barre d'alimentation pour les piles rechargeables.

b) Inspections approfondies

Le matériel utilisé pour ce type d'inspection est essentiellement le même que celui qui est employé dans les études infrarouges avec essais d'infiltrométrie. Voir la liste de matériel à la section 3.5.2 a).

c) Analyse en laboratoire

Grâce au convertisseur de balayage Viewscan et au système d'enregistrement numérique Imagpac, la DRI a été en mesure d'analyser les données et de traiter les images au moyen de logiciel fonctionnant sur matériel IBM/AT standard. Les données thermographiques numériques brutes et étalonnées sont maintenant stockées, rappelées, traitées et analysées sur matériel IBMPC compatible. Les copies matérielles sont produites sur diapositives couleurs 35 mm ou sur épreuves à partir de l'écran d'affichage.

3.3.3 Marche à suivre détaillée

TPC a mis au point une méthode détaillée permettant d'utiliser les cartes infrarouges pour l'évaluation des pertes de chaleur dans les bâtiments. Cette méthode a été employée afin de certifier le personnel qui évalue, par thermographie, l'intégrité

thermique des enveloppes de bâtiment. Cette méthode est décrite dans la norme CAN/ONGC (F) 149–GP–2MP, "Manuel d'analyse thermographique des enveloppes de bâtiment", 1986. Cette norme provisoire porte sur l'utilisation et l'entretien du matériel infrarouge, la collecte des données thermographiques et la reconnaissance des profils thermographiques infrarouges. Elle décrit les méthodes de mesure que doivent suivre les équipes chargées des études thermographiques. Ces méthodes ont trait à l'évaluation qualitative des enveloppes de bâtiment.

a) Inspection pendant les essais d'infiltrométrie

En plus de la méthode décrite dans le document susmentionné, on doit suivre les étapes suivantes lors des inspections thermographiques réalisées pendant les essais d'infiltrométrie, et lors des inspections thermographiques approfondies :

1. Faire l'inventaire de tout le matériel disponible.
2. S'il y a lieu, envoyer à l'atelier d'entretien tout le matériel électronique sujet à détérioration afin qu'il soit réparé et (ou) étalonné, et ce, environ quatre à six semaines avant l'inspection.
3. Si plusieurs systèmes sont disponibles, on doit décider quel matériel conviendra le mieux à l'emploi projeté. Il est préférable de prendre les relevés avec le même matériel qui a été utilisé lors des inspections précédentes.
4. Dresser une liste de vérification du matériel nécessaire et de son emploi projeté. Vérifier le matériel qui sera utilisé lors de l'inspection. Utiliser la liste afin de vérifier le matériel à la fin de l'inspection.
5. Emballer le matériel bien avant l'inspection, afin de tenir compte des délais de livraison. Prévoir quelques jours pour les imprévus.
6. Une fois sur les lieux, charger les piles du Thermovision et du magnétoscope. Pour obtenir de l'azote liquide, s'adresser à un fournisseur local.
7. Monter le matériel et en vérifier le fonctionnement avant son utilisation.
8. Les opérateurs de matériel thermographique doivent être sur les lieux et être prêts à réaliser une inspection, bien avant l'heure prévue pour celle–ci. Avant l'inspection, les rôles de chaque personne qui y participe doivent être bien définis. Des walkietalkies doivent être remis à l'équipe thermographique pour qu'elle puisse communiquer avec le responsable de l'essai afin de vérifier si les conditions de pression demeurent constantes au cours de l'étude (pendant les essais d'infiltrométrie).
9. Utiliser des chariots pour transporter le matériel thermographique à l'intérieur du bâtiment pendant les essais d'infiltrométrie par dépressurisation. Utiliser les chariots pour transporter le matériel à l'extérieur du bâtiment, pendant les essais d'infiltrométrie par pressurisation, seulement si cela s'avère utile.
10. Les opérateurs de matériel thermographique doivent observer les instructions indiquées dans les manuels des fabricants. Les images visuelles des températures de surface mesurées par le matériel

Thermovision sont enregistrées sur magnétoscope, et sont numérisées sur cartouches–mémoires à bulles. Une bande audio est enregistrée simultanément pendant l'inspection, ce qui permet de retracer les endroits inspectés, d'indiquer les températures intérieure et extérieure, les isothermes de référence, les niveaux isothermiques, la pression, et tout autre renseignement pertinent. Ces informations sont utilisées lors de l'analyse.

11. Maintenir une différence de pression moyenne constante au travers de l'enveloppe pendant toute la durée de l'essai d'infiltrométrie, lorsque l'inspection thermographique est en cours. Surveiller continuellement la vitesse et la direction du vent, les températures ambiantes intérieure et extérieure, et les taux d'humidité relative. Ces données peuvent être obtenues au moyen d'un poste météo éloigné, identifié dans le document de classe D portant sur la surveillance des conditions météorologiques, ou de la station météo locale. La température intérieure est obtenue par thermomètre numérique ou par psychromètre à fronde.
12. Le jour suivant l'inspection, les opérateurs de matériel et les thermographistes certifiés doivent examiner les bandes vidéo thermographiques et formuler leurs observations au sujet des images thermographiques enregistrées aux fins de référence.
13. L'analyse des bandes permet de déterminer les parties de l'enveloppe qui doivent faire l'objet d'une étude approfondie pendant le reste de la visite.

b) Inspections approfondies

1. Consulter les points 1 à 6 de la section 3.5.3 b) ("Inspection pendant les essais d'infiltrométrie").
2. Inspecter visuellement et en profondeur le bâtiment pendant le jour, avant et après l'inspection thermographique de l'enveloppe qui a lieu le soir.
3. Demander au responsable du bâtiment de régler les systèmes de circulation d'air à la pression négative maximale. Pour ce faire, il doit fermer toutes les prises d'air, ouvrir toutes les bouches d'aération et de détente, fermer tous les ventilateurs d'alimentation et d'évacuation. Les systèmes d'aération doivent être maintenus dans cet état pendant toute la durée de l'inspection thermographique. Les profils thermiques dus aux fuites d'air sont très visibles sur les surfaces intérieures dans ces conditions.
4. Utiliser des tubes de contrôle de la pression et des manomètres afin de vérifier périodiquement que la pression à l'intérieur du bâtiment est constante, et ce, pendant toute la durée de l'inspection. Consigner les pressions sous lesquelles l'inspection est réalisée. Également, prendre note de la direction et de la vitesse du vent, des températures ambiantes et des taux relatifs d'humidité (à l'intérieur et à l'extérieur).
5. L'opérateur de matériel thermographique et le technicien affecté à la préparation des lieux effectuent ce travail. Dans certains bâtiments,

l'équipe chargée de l'inspection thermographique doit être accompagnée par une escorte pendant toute la durée de l'étude, pour des raisons de sécurité.

6. Utiliser un chariot pour matériel thermographique afin de transporter le matériel dans le bâtiment.
7. On accordera une attention spéciale aux parties suivantes de l'enveloppe durant l'inspection :
   - les murs sous le seuil des fenêtres et derrière les convecteurs;
   - les murs cachés dans les garde–robes et les aires d'entreposage;
   - les cages d'escalier donnant vers l'extérieur et qui sont peu utilisées;
   - les murs périphériques dans les salles des machines de traitement de l'air;
   - les portes donnant sur l'extérieur, et ce, dans tout le bâtiment;
   - les points de jonction entre les murs périphériques et le plafond, au–dessus des plafonds suspendus;
   - la jonction des cages d'escalier et des murs périphériques;
   - les surfaces cachées sur les murs périphériques, derrière les tentures et les rideaux;
   - les débarcadères;
   - les puits d'ascenseurs;
   - les joints de dilatation.
8. Suivre les instructions indiquées dans les manuels des fabricants. Enregistrer sur magnétoscope et cartouches–mémoires à bulles les images thermiques des températures de surface mesurées par le matériel Thermovision. Enregistrer simultanément une piste audio durant l'inspection, afin de pouvoir indiquer les endroits inspectés, les températures spécifiques intérieure et extérieure, les isothermes de référence, les niveaux isothermiques, la pression et toute autre information pertinente. Identifier par une étiquette les cassettes vidéo enregistrées. Utiliser ces informations lors de l'analyse.
9. Remballer le matériel utilisé lors de l'inspection et utiliser la liste de vérification pour s'assurer que tout le matériel est renvoyé au bureau.

Si l'on effectue des inspections à l'extérieur, le bâtiment devrait être sous une pression positive afin d'accentuer les profils thermiques créés par les fuites d'air au travers de l'enveloppe. Si des inspections sont réalisées de l'intérieur, le bâtiment devrait être sous pression négative, ce qui accentuera les profils thermiques dus aux fuites d'air. Ce type d'inspection a lieu afin de vérifier les mécanismes de déperdition de chaleur lorsque l'inspection initiale du stade II n'a pas été concluante.

3.3.4 Évaluation

a) Inspection pendant les essais d'infiltrométrie

Les bandes enregistrées pendant un essai d'infiltrométrie sont examinées, le jour suivant une inspection, sur l'écran de visualisation Thermovision par des

spécialistes des enveloppes de bâtiment et d'autres personnes responsables de la conception, de la construction et de l'entretien des bâtiments. Des notes sont rédigées pour toutes les anomalies détectées dans l'enveloppe. Les informations obtenues lors de cet examen sont utilisées lors d'une étude visuelle préparatoire, à l'occasion de laquelle les endroits défectueux sont photographiés aux fins d'identification visuelle. On se sert des dessins architecturaux et des cahiers des charges àfin de vérifier les causes et les effets possibles des défectuosités de l'enveloppe.

L'emploi du convertisseur de balayage Viewscan et du système d'enregistrement numérique Imagpac a permis à la DRI de remplacer le matériel prototype d'analyse par un logiciel identique de traitement des images piloté par ordinateur IBM/AT standard. Les données thermographiques numériques brutes et étalonnées sont maintenant stockées, rappelées, traitées et analysées sur matériel IBM PC compatible. Les copies physiques sont produites sur diapositives couleurs 35 mm ou épreuves photographiques à partir de l'écran d'affichage ECG.

En vue de quantifier les images, les données et paramètres suivants sont réglés afin de donner les bonnes valeurs de température :

- le type de radiomètre à balayage utilisé pour obtenir l'image;
- l'ouverture du système optique;
- le niveau et le gain thermiques utilisés pour obtenir l'image;
- les paramètres d'étalonnage du radiomètre à balayage et de l'écran de visualisation utilisés pour obtenir l'image thermique originale;
- la température ambiante de réflexion à laquelle fonctionnait le radiomètre à balayage; et
- l'émissivité de la surface observée.

La quantification est nécessaire afin de déterminer les résistances thermiques relatives et d'évaluer la gravité des anomalies thermiques. On doit noter que les résistances thermiques ainsi obtenues ne sont qu'approximatives. L'évaluation est rendue possible en raison des valeurs relatives des résistances thermiques obtenues à partir des images.

La manipulation des images thermiques s'effectue de nombreuses façons. Voici une liste partielle des techniques de traitement :

- accentuation de l'image thermique par calcul de la valeur moyenne des températures (lissage);
- modification de l'échelle des couleurs utilisées pour identifier les plages de température de l'image thermique;
- séparation de différentes zones sur l'image thermique afin d'accentuer les modifications;
- affichage de l'image thermique en trois dimensions;
- affichage de plusieurs images sur un écran et surimpression des images en une seule image thermique composite de grandes dimensions;

- normalisation de toutes les images dans la mémoire de l'ordinateur en un seul ensemble de données à partir d'une image originale.

Les images thermiques, qu'elles aient été traitées ou non, sont photographiées au moyen d'un appareil Polaroid ou 35 mm. Les thermogrammes résultants sont présentés sous forme de photographies dans les rapports. On peut également créer des thermogrammes composites en coupant et collant plusieurs photographies ensemble. Cette technique permet parfois d'obtenir une image plus détaillée.

L'analyse des images thermiques est réalisée conjointement aux autres informations disponibles provenant de diverses sources : bandes vidéo, documents modifiés, autres documents portant sur la construction, entrevues avec le gérant du bâtiment et les ingénieurs, et avec le gestionnaire de projet.

b) Inspection approfondie

Avant de réaliser une inspection approfondie par thermographie, on doit réaliser un examen visuel détaillé de l'enveloppe du bâtiment. On accorde une attention spéciale aux parties de l'enveloppe trouvées défectueuses lors des inspections antérieures. Les informations ainsi obtenues sont utilisées pour l'analyse des bandes thermographiques. Les parties défectueuses de l'enveloppe sont photographiées aux fins d'identification visuelle et de corrélation avec les thermogrammes. Afin de vérifier les causes et les effets possibles des défectuosités de l'enveloppe, on étudie les dessins architecturaux et les cahiers des charges, les dessins d'atelier approuvés, ainsi que les entrevues réalisées avec le gérant du bâtiment, l'ingénieur, le gestionnaire de projet et le gestionnaire de la propriété.

Les méthodes d'analyse par ordinateur sont similaires à celles qui ont été présentées dans la section précédente, laquelle traite de l'analyse des données thermographiques obtenues lors de l'essai d'infiltrométrie. Cette analyse a pour but de quantifier les images thermiques afin d'évaluer la gravité des parties défectueuses de l'enveloppe qui présentent des pertes de chaleur anormales.

Ensuite, on formule des recommandations précises au sujet des parties de l'enveloppe qui présentent des pertes de chaleur anormales, lesquelles peuvent se traduire par une perte d'énergie ou par la détérioration de l'enveloppe du bâtiment. Ces recommandations sont fondées sur les paramètres en cause, à savoir : les mécanismes de déperdition de la chaleur, les matériaux de construction, le type de construction, ainsi que la gravité apparente des pertes de chaleur.

3.3.5 Affectation des ressources et calendrier

a) Inspection pendant les essais d'infiltrométrie

Les inspections thermographiques réalisées pendant les essais d'infiltrométrie mettent à profit les conditions favorables créées par l'injection de gaz traceur. Les résultats des inspections thermographiques ne sont pas concluants sans l'existence de fortes différences de pression. Des conditions contrôlées durant l'essai d'infiltrométrie par gaz traceurre présentent la situation idéale qui permet d'établir une corrélation entre les anomalies thermiques attribuables aux fuites d'air et aux différences de pression connues.

Un essai d'infiltrométrie par gaz traceur d'une durée de deux heures devrait permettre à l'équipe thermographique d'inspecter rapidement l'extérieur du bâtiment. Si l'essai d'infiltrométrie dure quatre heures, une équipe pourvue en matériel thermographique pourrait réaliser une inspection plus détaillée de l'extérieur du bâtiment.

En raison de sa complexité et des besoins en main-d'oeuvre, l'essai d'infiltrométrie doit recevoir la priorité absolue lors de l'inspection dans le bâtiment. L'étude thermographique est considérée comme un essai auxiliaire qui doit être réalisé sans toutefois mettre en péril l'essai d'infiltrométrie.

De trois jours à trois semaines sont nécessaires pour étalonner, réparer, régler et vérifier de façon générale le matériel, pour l'expédier au bâtiment inspecté et pour le retourner après l'inspection. Le temps nécessaire à ces activités dépend de l'état du matériel et de l'importance des travaux d'entretien nécessaires avant et après la visite sur les lieux.La réduction et l'analyse des données contenues sur les bandes thermographiques et les photographies peuvent prendre de deux jours à deux semaines. La durée de ces activités dépend de la complexité du bâtiment, de la qualité des bandes thermographiques, ainsi que de l'état et de la disponibilité du matériel thermographique.

La rédaction du rapport peut prendre d'une à quatre semaines, tout dépendant de sa complexité et de sa portée.

b) Inspection approfondie

Pendant l'inspection intérieure, les systèmes mécaniques du bâtiment sont réglés afin de donner une pression négative maximale. De la sorte, on accentue les profils thermiques attribuables aux fuites d'air sur les surfaces intérieures des murs périphériques. En faisant fonctionner de la sorte les systèmes mécaniques, on perturbera les aspects suivants du bâtiment :

- confort thermique;
- qualité de l'air;
- systèmes électriques;
- systèmes mécaniques;
- énergie;
- analyse fonctionnelle.

Ces aspects ne feront l'objet d'aucun essai pendant l'inspection thermographique. En outre, l'éclairage devrait être fermé au complet, sauf les projecteurs d'urgence.

Les inspections thermographiques détaillées sont habituellement réalisées par des équipes composées de deux ou trois personnes. Selon les dimensions et la complexité du bâtiment, il faudra prévoir un certain nombre de soirées afin d'étudier à fond les parties de l'enveloppe qui présentent un problème. Les parties qui nécessitent une préparation importante pour être visibles ou encore qui nécessitent l'emploi de matériel spécial, parce qu'elles sont hors de vue et (ou) difficiles d'accès, seront plus longues à inspecter que les murs et les toits clairement visibles.

De trois jours à trois semaines sont nécessaires pour étalonner, réparer, régler et vérifier de façon générale le matériel, et pour l'expédier au bâtiment inspecté et pour le retourner après l'inspection. Le temps nécessaire à ces activités dépend de l'état du matériel et de l'importance des travaux d'entretien nécessaires avant et après la visite sur les lieux.

L'analyse des données contenues sur les bandes thermographiques et les photographies peut prendre de deux jours à deux semaines. La durée de ces activités dépend de la complexité du bâtiment, de la qualité des bandes thermographiques, ainsi que de l'état et de la disponibilité du matériel thermographique.

La rédaction du rapport peut prendre d'une à quatre semaines. La durée de la rédaction dépendra de la portée du rapport. La rédaction d'un rapport portant sur l'analyse de l'enveloppe du bâtiment, sur l'analyse des études réalisées sous des différences de pression élevées et sur les études détaillées de problèmes précis prendra évidemment plus de temps que celle d'un rapport traitant de l'inspection qualitative et générale d'un bâtiment similaire.

3.3.6 Production et conservation des documents de travail

TPC a mis au point un format pour tous les rapports d'études thermographiques. Ces rapports doivent contenir les parties suivantes :

- Résumé
- Table des matières
- Introduction
- Historique des problèmes
- Demandes
- Données préliminaires
- Méthodes
- Conditions ambiantes
- Conclusions
- Recommandations
- Annexes

Pour des raisons de commodité et de clarté, les données pertinentes à un projet particulier devraient être inscrites sur des formulaires normalisés. Voici une liste de ces formulaires :

- Rapport d'étude du comportement de l'enveloppe de l'immeuble. Cette page contient, de façon systématique, les renseignements de base d'un projet, y compris le numéro du projet, l'emplacement du bâtiment, le nom des personnes ayant participé au projet, l'identification et les dimensions des composants de l'enveloppe, et les conditions météorologiques avant, pendant et après l'exécution des travaux.
- Relevé photographique – complexe.
  Cette feuille peut servir à consigner les photographies prises durant les visites, y compris la distance, le type d'objectif, le sujet, l'emplacement des détails photographiés, etc.
- Étude thermologique – feuille de données.
  Cette feuille présente les thermogrammes prélevés et les renseignements nécessaires à l'identification qualitative des irrégularités thermiques, c.-à-d. heure, endroit, température, humidité relative, matériel thermographique utilisé, réglages du matériel, etc. Une évaluation préliminaire du thermogramme est indiqué dans l'espace 'Notes'.
- Étude thermographique – thermogramme de référence.
  Cette feuille rattache les thermogrammes aux détails de construction et aux images visuelles du bâtiment, c.-à-d. élévations, croquis, photographies, etc.
- Feuille de données du gradient des températures.
  Cette feuille sert à consigner le calcul du gradient de température lorsqu'on se sert de la méthode arithmétique. Elle sert également de document de référence pour les informations relatives aux murs (c.-à-d. épaisseur, type de matériaux, résistances thermiques, masse thermique, etc.).
- Feuille de données sur la pression de la vapeur.
  Cette feuille a été préparée pour le calcul des gradients d'humidité réelle et saturée. Un espace a été prévu au bas de la page pour noter les observations sur les fuites d'air, le point de rosée et les probabilités de condensation.
- Formulaire de numérisation de thermogramme.
  Ce formulaire sert à identifier le thermogramme qui a été extrait d'une bande vidéo thermographique numérisée et enregistrée dans la mémoire de l'ordinateur. Sur ce formulaire, on consigne les informations essentielles suivantes :
  - nom du bâtiment, date du relevé;
  - type de système Thermovision et de magnétoscope utilisés;
  - températures de l'air à l'intérieur et à l'extérieur;
  - pression atmosphérique;
  - conditions météorologiques durant le relevé;
  - vitesse et direction du vent;
  - différence de pression au travers de l'enveloppe.

Pour chaque image thermique numérisée, on doit inclure les renseignements suivants :

- chiffre indiqué sur le compteur du magnétoscope;
- indicatif de l'image;
- heure de l'enregistrement;
- réglages du gain et du niveau;
- températures de référence;
- gains et niveaux des isothermes;
- matériaux observés;
- observations additionnelles.

4. RÉFÉRENCES

ASHRAE, Norme 101P, "Application of Infrared Sensing Devices to the Assessment of Building Heat Loss Characteristics", 1981.

CAN/ONGC (F) 149–GP–2MP, "Manuel de l'analyse thermographique des envelopes de bâtiments". 1986.

Filippone, A., McIntosh, G., "Minimum Resolvable Temperature Difference (MRTD) Testing: Equipment Specifications for Building Performance Diagnosis", Actes de Thermosense IV, The Society of Photo–Optical Instrumentation Engineers, Bellingham, Washington, 1981, Vol. 313, pp. 102–111.

Frisk, P., McIntosh, G., "Digital Image Processing for Thermogram Interpretation", Actes de Thermosense IV, The Society of Photo–Optical Instrumentation Engineers, Bellingham, Washington, 1981,Vol. 313, pp. 169–176.

Grot, R.A., Burch, D.M., Silberstein, S., Galowin, L.S., "Measurement Methods for Evaluation of Thermal Integrity of Building Envelopes", U.S. Department of Commerce, Centre for Building Technology, National Bureau of Standards, Washington, D.C., 1982.

ISO /TC 163 /SCI /WC N31E – Norme provisoire, "Infrared Method, Level I, Modes 1, 2 et 3, for Quantitative Detection of Thermal Irregularitiesin Building Enclosures".

ISO /TC 163 /SCI /WG4 – Norme provisoire, "Thermal Insulation – An Infrared Method for Qualitative Detection of Thermal Irregularities in Buildings".

Kaplan A.G., Mill, P.A.D., et le Comité, "Draft Standard for Certification of Infrared Building Thermographic Personnel", Travaux publics Canada, novembre 1981.

Manuel de l'opérateur de Thermovision 110.

Manuel de l'opérateur de Thermovision 780.

Manuel de l'opérateur de Thermovision 782.

Manuel d'instructions préliminaires pour le système Thermovision 750 Superviewer.

Mill, P.A.D., "Développement aux Travaux publics Canada des capacités de diagnostic thermographique des défauts d'enveloppe des immeubles", TPC, rapport no 27, 1979.

Mill, P.A.D., "La thermographie – nouvel instrument de la science du bâtiment", TPC, rapport no 29, 1979.

Mill, P.A.D., "Thermographic Interpretation of Building Enclosure Deficiencies in Canadian Public Buildings", Actes de Thermosense III, The Society of Photo–Optical Instrumentation Engineers, Bellingham, Washington, 1980, Vol. 254, pp. 121–136.

Mill, P.A.D., Kaplan, A.G., "Méthodologie générique de l'étude–diagnostic thermographique de l'enveloppe des bâtiments", TPC, rapport no 30,1982.

TPC, "Guideline of Thermographic Investigation for Insulation Installation in Building Envelopes Using an Imaging Infrared Radiation Sensing System (Level I, Field Modes 2, 3)", Document TPC 149–4, juin 1982.

5. ANNEXES

5.1 TERMES NORMALISÉS ET UNITÉS DE MESURE

ANOMALIES THERMIQUES Pertes de chaleur d'une structure qui ne sont pas conformes aux caractéristiques thermiques prévues.

AZOTE LIQUIDE Substance faisant office d'écran au rayonnement thermique pour les détecteurs des appareils Thermovision 720, 750 et 782. Ce liquide refroidit le détecteur afin de constituer un point de référence (à faible température) pour les températures de surface dans les images thermiques.

BOUTEILLE DEWAR Bouteille servant à protéger une substance chaude ou froide du milieu environnant. Elle comporte une paroi intérieure et une autre extérieure, et une lame d'air inerte entre les deux assure l'isolation. La bouteille thermos est un exemple de ce type de contenant. On utilise des bouteilles Dewar de différentes dimensions pour contenir l'azote liquide. Il y a lieu de noter que l'azote liquide s'évapore constamment et que la bouteille ne doit jamais être scellée.

CAMÉRA INFRAROUGE Instrument qui reçoit du rayonnement infrarouge et le convertit en un signal électrique, lequel est à son tour transformé en image sur un écran de visualisation.

CAPACITÉ THERMIQUE Quantité de chaleur nécessaire pour provoquer un changement de température donné dans une masse connue d'une substance, dans une période de temps fixe.

CAPTEUR INFRAROUGE Terme qui désigne une vaste famille d'instruments servant à afficher et (ou) enregistrer des données proportionnelles ou équivalante au rayonnement thermique provenant de la surface de l'objet visé par l'instrument.

CHAMP DE VISÉE INSTANTANÉ Angle en milliradians obtenu en subdivisant la dimension du détecteur du capteur par la longueur focale effective du système de lentilles de l'objectif du capteur, et en multipliant ce résultat par 1 000. Le champ de vision instantané est également appelé élément de résolution.

COMMANDE DE L'INTENSITÉ Commande servant à régler l'intensité d'une image visuelle. La fonction intensité est similaire à celle que l'on retrouve sur un téléviseur classique.

COMMANDE DE NIVEAU Réglage qui permet à l'opérateur de choisir un niveau d'intensité de l'émission infrarouge (température apparente). Le niveau choisi commande la sensibilité du réglage.

CONTRASTE Degré de changement du noir ou blanc (voir Échelle des gris).

CORPS NOIR Radiateur thermique idéal (émissivité = 1,0) qui émet et absorbe la quantité théorique maximale de rayonnement thermique, pour une température et une longueur d'onde données. Il existe une corrélation directe entre le rayonnement infrarouge reçu par la surface et la température. En établissant cette corrélation, il faut tenir compte de plusieurs facteurs : dimensions de la surface visée, éloignement de l'objet et atténuation atmosphérique.

DÉPHASAGE THERMIQUE Décalage en heures entre les températures de surface extérieure et intérieure, lorsque la surface extérieure est soumise à une variation de température sinusoïdale ayant une période de 24 heures.

DÉTECTEUR INFRAROUGE Dispositif qui transforme le rayonnement infrarouge incident en une autre forme d'énergie, habituellement l'électricité.

DIFFÉRENCE DE TEMPÉRATURE ÉQUIVALENT À UN BRUIT DE FOND Mesure du bruit d'un système imageur infrarouge ou d'un radiomètre à balayage linéaire. Elle représente la différence de température entre le corps noir visé à faible fréquence spatiale et le corps noir en arrière-plan, pour laquelle un rapport de 1 est obtenu entre le signal crête-à-crête et le bruit efficace à la sortie du circuit électronique de traitement du détecteur, pour le capteur en question.

DIFFÉRENCE DE TEMPÉRATURE DÉTECTABLE MINIMALE (DTMD) Capacité d'un système imageur infrarouge de permettre à l'observateur de reconnaître un réseau de barres de référence sur l'écran de visualisation. La DTMD est la différence de température minimale entre une configuration d'essai standard et un corps noir de référence, à laquelle un observateur peut distinguer le réseau de quatre barres. À cette fin, aucune limite n'est imposée au temps de visualisation ni à l'optimisation des commandes de niveau et de gain de l'instrument.

ÉCHELLE DES GRIS Gradation du noir au blanc dans une image thermique (souvent appelée contraste). L'échelle des gris est établie séparément pour les reproductions visuelles et photographiques.

ÉCHELLE GROSSIÈRE DES GRIS Fonction qui permet de séparer l'échelle progressive des gris en cinq paliers, ce qui facilite grandement l'interprétation des variations de température apparente.

ÉCLAIREMENT ÉNERGÉTIQUE Puissance rayonnante par unité de surface incidente sur la surface.

ÉCRAN DE VISUALISATION Aussi appelé "unité d'affichage". Cet écran reçoit un signal de la caméra infrarouge et la transforme en une image qui est projetée sur tube électronique.

EFFET DE CHEMINÉE Élévation de l'air chaud dans un bâtiment, ce qui provoque une exfiltration dans les étages supérieurs et une infiltration dans les étages inférieurs, lorsque la température intérieure est supérieure à la température extérieure. Cet effet est plus prononcé dans les bâtiments à plusieurs étages.

ÉMISSIVITÉ Propriété de la surface d'une substance qui désigne la relation entre l'exitance dans l'infrarouge et la température réelle de l'objet. La valeur maximale de l'émissivité est de 1, soit celle du corps noir.

ENVELOPPE DU BÂTIMENT Assemblage de matériaux et de composants qui constituent la paroi extérieure d'un bâtiment.

ÉQUILIBRE THERMIQUE État dans lequel l'écoulement de chaleur au travers d'une structure a atteint un régime stable. Dans le cadre des études–diagnostics de bâtiment, cet état est presque réalisé lorsque les conditions ambiantes ne changent pas pendant une certaine période. En d'autres mots, il y a égalité entre les gains thermiques, l'écoulement de chaleur et les pertes de chaleur, sans qu'aucune chaleur ne soit emmagasinée dans l'enveloppe.

EXFILTRATION Terme qui désigne les fuites d'air vers l'extérieur d'une structure.

EXITANCE Rapport de l'énergie rayonnante d'une surface à une température donnée sur l'énergie rayonnante correspondante provenant de la surface d'un corps noir à la même température.

FLUX DE RAYONNEMENT Flux rayonnant total d'une surface par unité de superficie. Le flux de rayonnement est la somme des flux rayonnants émis et réfléchis par la surface, plus tout flux rayonnant transmis au travers de cette surface.

FUITE D'AIR Libre circulation de l'air par des interstices et des passages accidentels dans les murs séparant l'intérieur de l'extérieur.

GAIN Terme qui désigne la sensibilité des récepteurs infrarouges. Plus le gain est faible, plus le réglage est sensible.

HUMIDITÉ Présence d'eau dans l'air.

IMAGE HYBRIDE Image infrarouge surimposée à une image visuelle du sujet.

IMAGE THERMIQUE Représentation visuelle de la répartition des températures apparentes sur une surface donnée.

INDICE DES TEMPÉRATURES Coefficient de rendement thermique basé sur le rapport, d'une part, de la différence de température entre la surface intérieure et l'air ambiant extérieur, et d'autre part, la différence de température entre l'air ambiant intérieur et l'air ambiant extérieur, de part et d'autre d'un élément de l'enveloppe d'un bâtiment. On peut se servir de cet indice afin d'évaluer la résistance thermique apparente de cet élément.

INFILTRATION Terme qui désigne le déplacement d'air vers l'intérieur d'une structure.

INFRAROUGE Rayonnement électromagnétique dont la longueur d'onde est plus longue que celle du rouge visible, mais plus courte que les micro–ondes.

ISOLANT Matériau qui s'oppose à la transmission de chaleur. Les matériaux isolants ont une faible conductivité thermique.

ISOTHERME Terme qui désigne toutes les surfaces émettant une même quantité de rayonnement infrarouge, à l'intérieur de la plage de longueur d'onde observée (laquelle dépend du réglage du gain et du niveau de l'instrument). Les isothermes sont des courbes qui rejoignent les surfaces de même température sur l'écran de visualisation. Dans le cas des corps noirs, dont l'émissivité est égale à 1, les isothermes désignent les surfaces de même température, d'où l'emploi de ce terme.

ISOTHERMOGRAMME Épreuve photographique sur laquelle figure une image thermique et des isothermes surimposés.

MONOCHROME Mode habituel d'affichage des images infrarouges sur les systèmes Agema Thermovision IMAGE (Gray) lesquels utilisent uniquement des teintes de gris.

OSCILLATION DU SPOT Fonction des systèmes radiométriques à balayage par trame Agema qui déplace les lignes de balayage sur l'écran de visualisation afin de remplir l'image. L'inconvénient de cette fonction est qu'on ne peut obtenir d'image précisément au foyer. Cette fonction est interruptible.

OUVERTURE Distance entre la lentille et un récepteur (que ce soit un film ou un capteur infrarouge). Plus l'ouverture est grande, moins le rayonnement doit être intense pour être perçu. Par conséquent, plus la source est chaude ou intense, plus l'ouverture doit être petite. L'ouverture est désignée par son numéro f. Un numéro f de 1,8 correspond à une plus grande ouverture qu'un numéro f de 4, lequel à son tour correspond à une plus grande ouverture qu'un numéro f de 16. Un numéro f très faible donnera une très grande sensibilité dans la plage inférieure des températures rencontrées en thermographie extérieure.

PLAGE DE LA RÉSOLUTION SPATIALE APPARENTE Résistance thermique apparente d'un bâtiment déterminée dans un intervalle donné, lequel tient compte des incertitudes de l'angle planaire défini par le gain de visée instantané de l'instrument, c.–à–d. l'élément de résolution.

POINT DE ROSÉE Température à laquelle la vapeur d'eau se condense. Elle dépend du degré d'humidité. Dans l'air, cette condensation apparaît sous forme de brouillard. Sur les surfaces solides, elle apparaît sous forme de rosée.

PROFONDEUR DE CHAMP Désigne la partie de l'image qui est véritablement au foyer. Plus l'ouverture est grande, plus la section au foyer est petite.

RADIANCE Flux rayonnant total par angle solide élémentaire et par superficie projetée élémentaire qui émane d'une surface. Cette valeur comprend le rayonnement intrinsèque, ainsi que le rayonnement réfléchi provenant d'autres sources que l'objet visé et qui est intercepté dans l'axe de mesure.

RADIOMÈTRE IMAGEUR À BALAYAGE L'INÉAIRE Appareil qui balaie dans une seule dimension et est déplacé perpendiculairement à l'axe de balayage afin de produire une image thermique en deux dimensions de la scène visée.

RÉFLEXION THERMIQUE Partie du flux rayonnant effectif d'une surface qui est attribuable à la réflexion.

RÉSISTANCE THERMIQUE Mesure de la qualité isolante d'un élément d'enveloppe de bâtiment, dans des conditions de régime stable. La résistance thermique apparente peut être évaluée de façon approximative par des méthodes tel l'indice de température.

RÉSOLUTION DU PLAN DE L'OBJET Dimensions du plan de l'objet qui correspond au produit du champ de visée instantané du système, en radians, par la distance qui sépare le système de l'objet.

RÉSOLUTION THERMIQUE Mesure de la capacité d'un capteur infrarouge de distinguer la différence de température rayonnante apparente entre deux corps noirs ayant presque la même température.

SCIENCE DU BÂTIMENT Application des principes fondamentaux de physique et de chimie, et de leurs effets sur les assemblages de matériaux de construction.

SUPERVIEWER Instrument conçu par Agema Infrared Systems qui permet de surimposer une image infrarouge à une image de la même scène prise dans le spectre visible.

SYSTÈME IMAGEUR INFRAROUGE Appareil qui convertit la variation spatiale en deux dimensions de la radiance infrarouge provenant de la surface d'un objet en une image thermique en deux dimensions, dans laquelle la variation de radiance est représentée sous forme de gradation des tons de gris, ou encore sous forme de fausses couleurs.

THERMOGRAMME Reproduction visuelle d'une image thermique. Désigne un enregistrement ou une photographie en deux dimensions d'une image qui représente les températures apparentes d'une scène captée par un système imageur.

THERMOGRAPHIE Méthode de production d'un thermogramme au moyen d'un système imageur infrarouge. Désigne la conversion d'un profil de température par contraste en une image visuelle. Technique de représentation d'un objet qui fait appel à l'interprétation de l'énergie électromagnétique rayonnante provenant de sa surface. L'intensité de l'énergie thermique émise par l'objet est représentée par l'intensité de la lumière ou des couleurs sur l'écran de visualisation.

THERMOGRAPHISTE Opérateur qualifié de système infrarouge ayant des connaissances paraprofessionnelles en science du bâtiment.

THERMOLOGISTE Opérateur qualifié de systèmes infrarouges, ayant des connaissances professionnelles en science du bâtiment.

TRANSMISSION DE CHALEUR Déplacement d'énergie d'un endroit de température élevée vers un endroit de température moindre. Cette transmission peut se produire par induction, convection ou rayonnement, tout dépendant des caractéristiques du matériau en cause dans ce processus.

TRANSMITTANCE Rapport de l'énergie rayonnante transmise au travers d'un corps à l'énergie incidente sur celui–ci. Caractéristique d'une substance qui désigne sa capacité de transmettre du rayonnement à une longueur d'onde donnée. Par exemple, un morceau de verre ordinaire laisse passer le rayonnement dans la bande visible, mais laisse passer peu de rayonnement infrarouge.

VIDE Terme qui désigne toute partie de l'enveloppe de bâtiment dont la résistance thermique diffère grandement des parties adjacentes. Un tel vide peut être attribuable à l'absence partielle ou complète d'isolant.

VUE HYBRIDE Combinaison des longueurs d'ondes électromagnétiques visibles et de certaines longueurs d'ondes de l'infrarouge invisible qui donne une image à la fois visuelle et thermique d'un objet, lorsque les images respectives sont surimposées.

5.2 NORMES APPLICABLES ET ORGANISMES DE RÉGLEMENTATION

Voici la liste des normes applicables aux inspections thermographiques, dans l'optique de l'analyse des enveloppes de bâtiment.

1. Norme 101P de l'ASHRAE, "Application of Infrared Sensing Devices to the Assessment of Building Heat Loss Characterists", 1981.

2. ISO /TC 163 /SCI /WC N31E – Norme provisoire, "Infrared Method, Level I, Modes 1, 2 et 3, for Quantitative Detection of Thermal Irregularities in Building Enclosures". ISO /TC 163 /SCI /WG4 – Norme provisoire, "Thermal Insulation – An Infrared Method for Qualitative Detection of Thermal Irregularities in Buildings".

3. CAN/ONGC (F) 149–GP–2MP, "Manuel d'analyse thermographique des enveloppes de bâtiment, 1986".

4. ASTM C168–80a, "Standard Definitions of Terms Relating to Thermal Insulation Materials".

5. CGSB 51–GP–42MP, "Manuel pour l'isolation thermique des maisons pour la conservation d'énergie".

À l'heure actuelle, il n'existe aucune organisation gouvernementale qui assure la certification des thermographistes au Canada. Auparavant, ce rôle de certification des opérateurs était dévolu à la NAIRTA (North American Infrared Thermographic Association), laquelle était parrainée par TPC et GSA (États–Unis). Depuis, cette association a été dispersée. Voici une liste partielle d'institutions et d'organisations internationales qui s'occupent de la thermographie comme outil d'analyse des enveloppes de bâtiment :

- SPIE – The Society of Photo–Optical Instrumentation Engineers (États–Unis);
- NBS – National Bureau of Standards, États–Unis;
- Conseil suédois de la Research Lab, Département de la défense nationale, États–Unis;
- Oaks Ridge Cold Weather Research Lab, Départment de la défense nationale, États–Unis;
- ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air–conditioning Engineers, États–Unis;

- Infraspection Institute (Vermont), États–Unis.

5.3 BIBLIOGRAPHIE

SUJET: IMMEUBLES ET PERSONNES
SCIENCE RELIÉE À L'ENCEINTE DU BÂTIMENT
DIAGNOSTICS RELIÉS À L'ENCEINTE DU BÂTIMENT

Baker, M.C., **Principles of Enclosure Design**, Ottawa, Conseil national de recherches du Canada.

Garden, G.K., **Function of the Building Enclosure**, article relié au sciences du bâtiment, Travaux publics Canada.

Latta, J.K., **Walls, Windows and Roofs for the Canadian Climate**, Ottawa, Conseil national de recherches du Canada, CNRC 13487, 1973.

Mill, P.A.D., **Optimum Building Enclosure Performance**, Lecture 3, Buildings, Shelter and Environmental Separators, Université de Carleton, Construction de bâtiment, 2 lectures.

Mill, P.A.D., **Thermography – A New Building Science Tool**, Séries de rapport No. 29, Ottawa, Travaux publics Canada.

Sasaki, J.R., **Indoor Environment and Comfort**, Ottawa, Division de recherche du bâtiment, Conseil national de recherches du Canada.

Digests de la construction au Canada

Garden, G.K., **Conception et durée de vie utile**, CBD 120F, Ottawa, Conseil national de recherches du Canada.

Hutcheon, N.B., **Température ambiante et bien–être**, CBD 102F, Ottawa, Conseil national de recherches du Canada.

Northwood, T.D., **Le son et les hommes** CBD 41F, Ottawa, Conseil national de recherches du Canada, 1963.

Northwood, T.D., **L'insonorisation dans les édifices à bureau**, CBD 51F, Ottawa, Conseil national de recherches du Canada, 1964.

Wilson, A.G., **La ventilation et la qualité de l'air**, CBD 110F, Ottawa, Conseil national de recherches du Canada.

SUJET: TRANSFERT DE CHALEUR

Adams, L., **Thermal Conductance of Air Spaces**, ASHRAE Journal, March 1976, pp. 37–38.

American Society for Testing and Materials, **Standard Method of Test for Thermal Conductivity by Means of the Guarded Hot Plate**, ASTM Designation C–177, 1975.

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook – 1985 Fundamentals**, Atlanta, Georgia.

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Inc., **Energy Conservation In New Building Design**, Atlanta, Georgia, 1975, Standard 90 – 75.

Auliciems, A., R de F Freitas, Hare, F.K., **Winter Clothing Requirements for Canada**, Environnement Canada, Études Climatologiques No. 22, Toronto, 1973.

Ball, W.H., **Isolation thermique des maisons d'habitation**, Digest de la construction au Canada No. 16F, Conseil national de recherches du Canada, avril 1961.

Brown, W.G., **Graphic Determination of Temperature Under Heated or Cooled Areas on the Ground Surface**, Technical Paper No. 163F, Conseil national de recherches du Canada, oct. 1963.

Brown, W.P., Wilson, A.G., **Ponts thermiques dans les bâtiments**, Digest de la Construction au Canada No. 44F, Conseil national de recherches du Canada, août 1963.

Gebhart, B., **Heat Transfer**, McGraw–Hill, deuxième Édition, 1971.

Handegord, G.O., **Thermal performance of Frame Walls**, Part III – Wall Surface Temperatures, ASHRAE Transactions, Vol. 63, 1957, pp. 311 – 346. (DBR Research Paper No. 34.)

Handegord, G.O., Hutcheon, N.B., **Thermal Performance of Frame Walls**, ASHRAE Transactions, Vol. 58, 1952, pp. 301–320.

Johnston, G.H., **Les fondations dans le pergélisol**, Digest de la construction au Canada No. 64F, Conseil national de recherches du Canada, avril 1965.

Latta, J.K., **Walls Windows and Roofs for the Canadian Climate**, Special Technical Publication No. 1, Conseil national de recherches du Canada, oct. 1973. (CNRC 13487)

Min, T.C., Schutrum, L.F., Parmelee, G.V., Vouris, J.D., **Natural Convection and Radiation in a Panel–Heated Room**, ASHRAE Transactions, Vol. 62, 1956, pp. 337–358.

Conseil national de recherches Canada, **Measures for Energy Conservation in New Buildings**, Ottawa, Conseil national de recherches du Canada, CNRC 16574, 1978.

Penner, E., **Congélation du sol et soulèvements dus au gel**, Digest de la construction au Canada No. 26F, Conseil national de recherches du Canada, février 1962.

Sasaki, J.R., **Thermal Performance of Exterior Steel–Stud Frame Walls**, ASHRAE Transactions, , Vol. 78, Part I, 1972, pp. 192 – 198. (DBR Research Paper No. 596.)

Shirtliffe, C., **Résistance thermique de l'isolant de bâtiment**, Digest de la construction au Canada No. 149F, Conseil national de recherches du Canada, 1972.

Solvason, K.R., **Large-scale Wall Heat-flow measuring Apparatus**, ASHRAE Transactions, Vol. 65, 1959. (DBR Research Paper No. 101)

Solvason, K.R., Wilson, A.G., **Fenêtres à doubles-vitres scellées à l'usine**, Digest de la construction au Canada No. 46F, Conseil national de recherches du Canada No. 46F, 1963.

Veale, A.G., **Insulation Thicknesses for Houses**, Canadian Builder, Vol. XIV, No. 11, nov. 1964.

Wilson, A.G., Brown, W.P., **Caractéristiques thermiques des fenêtres à contre-châssis**, Digest de la construction au Canada No. 58F, Conseil national de recherches du Canada, oct. 1964.

Wilson, A.G., **Condensation sur les surfaces intérieures des vitres**, Digest de la construction au Canada No. 4F, Conseil national de recherches du Canada, 1960.

Wolf, S., Solvason, K.R., Wilson, A.G., **Convective Air Flow Effects with Mineral Wool Insulation in Wood-frame Walls.**, ASHRAE Transactions, Vol. 72, Part II, 1966, pp. 11.3.1 - 11.3.8. (DBR Research Paper No. 318.)

SUJET: RADIATION SOLAIRE ET IMMEUBLES

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook - 1985 Fundamentals**, Atlanta, Georgia.

Parmelee, G.V., Aubele, W.M., **Radiant Energy Emission of Atmosphere and Ground**, ASHRAE Transactions, Vol. 58, 1952, pp. 85 - 106.

Stephenson, D.G., **Principes d'installation des écrans paresoleil**, Digest de la construction au Canada No. 59F, Conseil national de recherches du Canada, nov., 1964.

Stephenson, D.G., **Les vitres réfléchissantes**, Digest de la construction au Canada No. 101F, Conseil national de recherches du Canada, mai, 1968.

Stephenson, D.G., **Gains de chaleur solaire au travers des fenêtres et des parements vitrés**, Digest de la construction du Canada No. 39F, Conseil national de recherches du Canada, mars, 1963.

Stephenson, D.G., **Tables of Solar Altitude, Azimuth Intensity and Head Gain Factors for Latitudes from 43 to 55 Degrees North**, Technical Paper No. 243, Conseil nationale de recherches du Canada, avril, 1967. (CNRC9528)

Threlkeld, J.L., **Thermal Environmental Engineering**, Prentice-Hall, NY, 1972.

Threlkeld, J.L., Jordan, R.C., **Direct Solar Radiation Available on Clear Days**, ASHRAE Transactions, Vol. 64, 1958.

SUJET: THERMOGRAPHIE

American Thermographic Society, **Thermographic Quarterly**.

Axen, B., Pettersson, B., **Thermography – Testing of Thermal Insulation and Airtightness in Buildings**, Agema Infrared Systems, Burlington, Ont., 1980.

Bramson, H.A., **Infrared Radiation: A Handbook for Applications**, Plenum Press, New York, 1968.

Building Thermographic Applications, Agema Infrared Systems, Burlington, Ont.

Burch, D.M., Kusuda, T., Blum, D.G., **An Infrared Technique for Heat Loss Measurement**, NTIS–NBS Technical Note 933, US Gov. Printing Office, Washington, D.C., 1977.

Division des sciences de l'architecture et du bâtiment, Travaux public Canada, **International Building Thermographic Training Course**, TPC, Dept. of Energy USA, General Service Administration USA, 1981.

General Thermographic Applications, Agema Infrared Systems, Burlington, Ont.

Headley R.B., Larsen, R.J., Goldberg, G.M., Boyd, R.L., **Infrared Thermography Requirements Study for Energy Conservation**, No. ARI–ADD–77–1, US Energy Research and Development Administration, Washington, DC, 1977.

Hill, A.B., Bevers, D.V., **Infrared Inspection Techniques**, National Petroleum Refiners Association, Washington, D.C.

IRIE, **Proceedings of the Second, Third and Fourth Biennial Infrared Information Exchanges**, AGA Corporation, 1974, 1976, 1978.

Jamison, J.A., **Infrared Physics and Engineering**, McGraw–Hill, 1963.

Kemp, B., **Modern Infrared Technology**, Howard W. Sams and Co., Indianapolis, N.Y., May 1962.

Kreider, K.G., Hurley, C.W., **Applications of Thermography for Energy Conservation in Industry**, Technical Note 923, NBS, US Printing Office, Washington, D.C., 1976.

Krieth, F., **Principles of Heat Transfer**, Intext Educational Publishers, N.Y., 1973.

Latta, J.K., **Walls, Windows and Roofs for the Canadian Climate**, Conseil national de recherches du Canada, CNRC 13487, 1973.

Lawrence, G.R., **Methodology for Detection of Heat Loss from Buildings Through Aerial Thermography**, Ontario Centre for Remote Sensing, Ministry of Natural Resources, Toronto, Ont., 1976.

Lloyd, J.M., **Thermal Imaging Systems**, Plenum Press, N.Y., 1975.

Marshall, S.J., **Infrared Thermography of Buildings – An Annotated Bibliography**, USA CRREL SR 77–9, National Technical Information Service, US Dept. of Commerce, Springfield, Va., 1977.

Mill, P.A.D., **Thermography – A New Building Science Tool**, Report Series No. 29, Travaux publics Canada

Paljak, I., Pettersson, B., **Thermography of Buildings**, National Swedish Council for Building Research, Scangraf AB Stockholm, 1977.

Sabins, F.F., **Remote Sensing Principles and Interpretation**, W.H. Framan and Co., 1978.

Simon, I., **Infrared Radiation**, D. Van Nostrand Co., Toronto, Ont., 1966.

Smith, I.E., Flannagan, M., Probert, S.D., **The Effect of Uncertainties in the Emissivity of Thermal Loss Estimates From Building and Structures**, School of Mechanical Engineering, Cramfield Institute of Technology, England, 1976.

Temperature Measurement and Theory, Agema Infrared Systems, Burlington Ont.

Thermographic Equipment and Operating Instructions, Agema Infrared Systems Burlington, Ont.

Tobiasson, W., Korhonen, C., Dudley, T., **Roof Moisture Survey: Ten State of New Hampshire Buildings**, CRREL Report No. 7731, US Army Cold Region Research and Engineering Laboratory, Hanover, N.H., 1977.

Wolfe, W.L., **The Handbook of Military Infrared Technology**, Office of Naval Research, Dept. of the Navy, Washington, D.C.

Wolfe, W.L., Zissis, G.J., **The Infrared Handbook**, Office of Naval Research, Dept. of the Navy, Washington, D.C.

TOPIC: TEMPÉRATURE ET CLIMAT

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook – 1977 Fundamentals**, Atlanta, Georgia, Chapter 23, p. 16–17.

Byers, H.R., **General Meteorology**, McGraw–Hill, 4th Edition, 1974, 461 p.

Conseil national de recherches du Canada, **Données climatiques pour le calcul des bâtiments au Canada**, Supplément du Code national du bâtiment du Canada, 1985, Ottawa, pp. 1 – 22, (CNRC 23178F).

Conseil national de recherches du Canada, **Commentaires sur la partie 4 du Code national du bâtiment du Canada 1985**, Supplément du Code national du bâtiment du Canada, 1985, Ottawa pp. 68–151 (CNRC 23178F).

Statistics Canada, **Canada Year Book 1973**, Information Canada, Ottawa.

Thomas, M.K., **A Bibliography of Canadian Climate 1763–1957**, Service de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada, Aussi – A Bibliography of Canadian Climate 1958–1971, par le même auteur.

Weathers Ways, branche météorologique, Transports Canada, 3 ième édition, 1961, 145 p.

SUJET: MOLÉCULES, GAZES, CHALEUR ET RADIATION

Krauskoff, C., Beiser, A,. **Fundamentals of Physical Science**, 6th Edition (1975), McGraw–Hill, Inc., New York.

Miller, F. Jr., **College Physics**, 2nd Edition, (1972), Harcourt, Brace and World, Inc., New York.

SUJET: RADIATION DANS L'ENVIRONNEMENT

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook of Fundamentals 1977**, Atlanta, Georgia.

Ashton, H.C., **Effets de l'irradiation sur les matériaux organiques**, Conseil national de recherches Canada, Digest de la construction au Canada No. 121F, janvier 1970.

Byers, H.R., **General Meteorology**, McGraw–Hill, Inc., 1974.

Fanger, P.O., **Thermal Confort**, McGraw–Hill Book Company, 1972.

Garden, G.K., **Caractéristiques du verre à vitres**, Digest de la construction au Canada No. 60F, Conseil national de recherches du Canada.

Gates, D.M., **Science**, Vol. 151, p. 523, 1966.

Gebhart, B., **Heat Transfers**, Second Edition, 1971, McGraw–Hill, Inc.

Mackey, C.O., Wright, Jr., L.J., Clark, R.E., and Gray, N.R., **Radiant Heating and Cooling, Part 1**, Cornell University Engineering Experiment Station, Bulletin 32, 1943.

Siegel, Robert and Howell, J.R., **Thermal Radiation Heat Transfer**, McGraw–Hill, Inc. 1972.

SUJET: L'EAU DANS L'ENVIRONNEMENT

American Society for Testing and Materials, **Standard Methods of Test for Water Vapour Transmission of Materials in Sheet Form**, American Society for Testing and Materials, Standard E96, Volume 04.06, 1980.

American Society for Testing and Materials, **Standard Test Methods for Water Vapour Transmission of Thick Materials**, American Society for Testing and Materials, E335, Volume 04.06, 1964.

Baker, M.C., **La pourriture du bois**, Digest de la construction au Canada No. 111F, Conseil national de recherches du Canada, mars, 1969.

Baker, M.C., **Déformation des matériaux de construction par suite des variations thermiques et hygrométriques**, Digest de la construction au Canada No. 56F, Conseil national de recherches du Canada, août 1964.

Byers, H.R., **General Meteorology**, 4ième édition, 1974, McGraw–Hill Inc. 461 p.

Conseil national de recherches du Canada, **Commentaires sur la partie 4 du Code national du bâtiment du Canada**. Supplément du code national du bâtiment du Canada, 1985. (CNRC 23178F.)

Curr, C.G., Marshall, T.J. and Hutton, J.T., **Movement of Water in Soil Due to a Temperature Gradient**, Soil Science, November, 1952, p. 335.

Eden, W.J., **Glissement de terrains argileux**, Digest de la construction au Canada No. 143F, Conseil national de recherches du Canada, nov. 1971.

Everett, D.H. and Hayes, J.M., **Capillary Properties of Some Model Pore Systems With Special Reference to Frost Damage**, RILEM Bulletin No. 27, juin 1965. p. 31–38.

Feldman, R.F. and Serada, P.J., **Moisture Content – Its Significance and Interaction in a Porous Body**, Proceedings, International Symposium on Humidity and Moisture, Washington, D.C. 1963, Vol. 4, Chapter 28, p. 233–243. (DBR Research Paper No. 267.)

Feldman, R.F. Swenson, E.G., **Volume Change on First Drying of Hydrated Portland Cement With and Without Admixtures**, Cement and Concrete Research, Vol. 5, No. 1, janvier, 1975. (DBR Research Paper No. 624.)

Gold, L.W., **A Possible Force Mechanism Associated With the Freezing of Waterin Porous Materials**, Highway Research Board, Washington, D.C. Bulletin 168, p.65–73. septembre, 1958, (DBR Research Paper No. 66.)

Hamilton, J.J, **Les sols d'assise expansibles et contractibles**, Digests de la construction au Canada, No. 84F, Conseil national de recherches du Canada, décembre 1966.

Johansson, C.H., **Moisture Transmission and Moisture Distribution in Building Materials**, Sanitetskek, Vol. 19, 1948, p. 67. (CNRC Translation 189.)

Joy, F.A. and Wilson, A.G., **Standardization of the Dish Method for Measuring Water Vapour Transmissions**, Proceedings International Symposium on Humidity and Moisture. Washington, D.C., 1963. Vol. 4, Chapter 31, p. 259–270. (DBR Research Paper 279)

Kohnke, H., **Soil Physics**, McGraw–Hill, Inc. 1968. 224 p.

Kuzmak, J.M. and Sereda, P.J., **The Mechanism by Which Water Moves Through a Porous Material Subjected to a Temperature Gradient: I, Introduction of a Vapour Gap into a Saturated System**, Soil Science, Vol. 84, No. 4, octobre 1957, p. 291–299. (DBR Research Paper No. 57).

Legget, R.F. and Crawford, C.B., **Arbres et immeubles**, Digest de la construction au Canada No. 62F, Conseil national de recherches du Canada, février 1965.

Litvan, G.G., **Adsorption Systems at Temperatures Below the Freezing Point**, Advances in Colloid and Interface Science, Vol. 9, 1978, p. 253–302. Elesvier, Rotterdam. (DBR Paper No. 781.)

Litvan, G.G., **Freezing–Thaw Durability of Porous Building Materials**, présente au First International Conference on Durability of Building Materials and Components, Ottawa, août 1978.

Litvan, G.G., **Testing the Frost Susceptibility of Bricks**, American Society for Testing and Materials, Special Technical Publication 589. 1975. p. 123–132. (DBR Research Paper 645)

Miller, F. Jr., **College Physics**, Harcourt Brace and World Inc., New York. Second Edition 1972.

Organisation de normalisation générale du Canada, **Pare–vapeur, en feuille, pour bâtiment**, CAN/ONGC 51.33–M80.

Organisation de normalisation générale du Canada, **Pare–vapeur, en feuille, le polyethylene, pour bâtiment**, CAN/ONGC–51.34–M86.

Paxton, J.A. and Hutcheon, N.B., **Moisture Migration in a Closed Guarded Hot Plate**, Transactions, American Society for Heating and Ventilating Engineers, Vol. 58, 1952, p. 301–320.

Penner, E., **Frost Heaving Pressures in Particulate Materials**, OECD Symposium on Frost Action on Roads, Paris 1973. Vol. 1, p. 379–385. (DBR Research Paper No. 579.)

Penner, E., **Congélation du sol et soulèvement dus au gel**, Digest de la construction au Canada No. 26F, Conseil national de recherches du Canada, février 1962.

Penner, E., **Pressure Developed During the Unidirectional Freezing of Water–Saturated Porous Materials**, Proceedings, International Conference of Low Tempature Science, 1966, Sapporo, Japan. Volume 1, Part 2, 1967. p. 1401–1412. (DBR Research Paper No. 374.)

Penner, E., **Pressures Developed in a Porous Granular System as a Result of Ice Segregation**, Highway Research Board, Washington, D.C. Special Report No. 40. (DBR Research Paper No. 81.), juillet 1959.

Penner, E., **Soil Moisture Suction – Its Importance and Measurement**, Proceedings, American Society for Testing and Materials, Vol. 58, 1958, p. 1205–1217. (DBR Research Paper 76)

Penner, E., **Soil Moisture Tension and Ice Segregation**, Highway Research Board Washington, D.C. Bulletin No. 168, p. 50–64, septembre 1958. (DBR Research Paper No. 67.)

Penner, E. and Burn, K.N., **Congélation adhérente et soulèvement des fondations dû au gel**, Digest de la construction au Canada No. 128F, Conseil national de recherches du Canada, août 1970.

Penner, E., Eden, W.J. and Grattan–Bellew, P.E., **Expansion des argiles litéespryriteuses**, Digest de la construction au Canada No. 152F, Conseil national de recherches du Canada, juillet 1973.

Ritchie, T., **Efflorescence**. Digest de la construction au Canada No. 2F, Conseil national de recherches du Canada, février 1960.

Ritchie T., **Les adjuvants du béton de ciment portland**, Building Research Note, No. 103, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, octobre 1975.

Ritchie, T., **Emploi des silicones comme hydrofuges dans la construction**, Digest de la construction Canada No. 162F, Conseil national de recherches du Canada.

Sereda, P.J., **Corrosion atmosphérique dans la construction**, Digest de la construction au Canada No. 170F, Conseil national de recherches du Canada, 1975.

Sereda, P.J. and Feldman, R.F., **Humidification et séchage des matériaux poreux**, Digest de la construction au Canada No. 130F. Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, octobre, 1970.

Vallentyne, J.R., **The Algal Bowl**, Environment Canada, Ottawa, 1974. 186 p.

Woodside, W. and de Bruyn, C.M.A., **Heat Transfer in a Moist Clay Soil Science**, Vol. 87, No. 3, mars 1959, pp. 166–173, (DBR Research Paper No. 79.)

SUJET: L'AIR ET LE CONTENU D'EAU

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook–1976 Systems.**

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **Environmental Control Principles; An Educational Supplement to ASHRAE Handbook of Fundamentals 1972**, New York 1974.

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook–1977 Fundamentals**. Chapter 13. Measurement and Instruments.

Bulloch, C.E., and Carpenter, J.H., **New Psychrometric Charts in S.I. Metric Units**, ASHRAE Journal, décembre, 1975, p. 30–33.

Carrier, W.H. and Lindsay, D.C., **The Temperatures of Evaporation of Water into Air**, ASHRAE Transactions, Vol. 46, 1924.

Hedlin, C.P., **Device for Calibrating Electrical Humidity Sensors**, Materials Research and Standards, Vol. 6, No. 1, janvier 1966.

Hutcheon, N.B., **Humidity and Buildings**, Building Material News, Vol. 20, avril 1964. (DBR Technical Paper No. 188.)

Hutcheon, N.B., **Humidité dans les bâtiments Canadiens**, Digest de la construction au Canada No. 1F, Conseil national de recherches du Canada, janvier 1960.

Hutcheon, N.B., **Le problème fondamental du conditionnement de l'air**, Digest de la construction au Canada No. 106F, Conseil national de recherches du Canada, octobre 1968.

Proceedings, International Symposium on Humidity and Moisture Migration, Washington, D.C., 1963.

Solvason, K.R., **Installations de conditionnement d'air**, Digest de la construction au Canada No. 109F, Conseil national de recherches du Canada, janvier 1969.

Solvason, K.R., **Phase du conditionnement de l'air**, Digest de la construction au Canada No. 108F, Conseil national de recherches du Canada, décembre 1968.

Wilson, A.G., **Condensation sur les surfaces des fenêtres**, Digest de la construction au Canada No. 4F, Conseil national de recherches du Canada, avril 1960.

Aynsley, R.M., Melbourne, W. and Vickery, B.J., **Architectural Aerodynamics**, Applied Science Publishers Ltd., London 1977.

Dodge, R.A. and Thompson, M.J., **Fluid Mechanics**, McGraw–Hill, New York, 1937.

Hatch, T.F. and Barron–Oronzco, D., **Air Flow in Free Convection Over Heated Bodies**, Transactions. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Vol. 63, 1957, pp. 275–90.

Houghton, E.L. and Carruthers, N.B., **Wind Forces on Buildings and Structures**, Edward Arnold Ltd., London 1976.

Prandtl, L., and Tietjens, O.G., **Fundamentals of Hydro and Aeromechanics**, McGraw–Hill, New York, 1934, p. 259.

White, F.M., **Viscous Fluid Flow**, McGraw–Hill, New York, 1974.

SUJET: VENT SUR LES IMMEUBLES

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook – 1975 Equipment, Atlanta, Georgia.**

Aynsley, R.M., Melbourne, W. and Vickery, B.J., **Architectural Aerodynamics"**, Applied Science Publishers Ltd., London 1977.

Baines, W.D., **Effect of velocity distribution on wind loads and flow patterns on buildings**, Proceedings, International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures. Teddington, U.K., juin 1963.

Birkeland, O., **General report on rain penetration**, Norges byggforsknings-instiutt, Oslo, 1966, (Saertrykk, 177).

Conseil national de recherches du Canada, Code national du bâtiment du Canada, 1985, Ottawa (CNRG 23174F)

Conseil national de recherches du Canada, **Commentaires sur la partie 4 du Code national du bâtiment du Canada**. Supplément du Code national du bâtiment du Canada, 1985, Ottawa. (CNRC 23178F).

Conseil national de recherches du Canada, **Données climatiques pour le calcul des bâtiments au Canada**. Code national du bâtiment du Canada, 1985. Ottawa, CNRC No 23178F.

Dalgliesh, W.A., **Comparison of Model/full-scale wind pressure on a high building**, Journal of Industrial Aerodynamics, Vol. 1, 1975, p. 55-66. (CNRC 15130).

Davenport, A.G. and Dalgliesh, W.A., **A preliminary appraisal of wind loading concepts of the 1970 National Building Code of Canada**, Proceedings, Third International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures. 6-11 September 1971, Tokyo. Part III. p. 441-450. (Technical Paper No. 405, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, CNRC 13741).

Davenport, A.G. and Isyumov, N., **The application of the boundary layer wind tunnel to the prediction of wind loading**, Proceedings, International Research Seminar on Wind Effects on Buildings and Structures, Ottawa, Canada, septembre 1967.

Davenport, A.G., **The spectrum of horizontal gustiness near the ground in high winds**, Quart. J. Roy. Met. Soc., P. 194. 1961.

Davenport, A.G., **Wind Loads on Structures**, Conseil national de recherches au Canada, Ottawa. mars, 1960, Technical Paper 88. CNRC 5576).

Fourth International Conference on Wind Effects on Building and Structures, September 1975, London, Cambridge University Press, 1976.

Gandemer, J. et Guyot A., **Integration du Phenomene Vent dans la conception du milieu bati**, Guide methodologique et conseils pratiques. 130 p. Secretariat General du Groupe Central des Villes Nouvelles, Paris. (Diffusion: La Documentation Francaise, 31 quai Voltaire, Paris.)

Givoni, B., **Man, climate and architecture**. Applied Science Publishers, Barking, England. 2nd edition, 1976.

Hougton, E.L. and Carruthers, N.B., **Wind forces on building and structures**, Edward Arnold, London 1975.

International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures, papier présenté au Science Council of Japan, Tokyo, septembre 1971.

International Seminar on Wind Effects on Buildings and Structures, papier présenté au National Physical Laboratory, Teddington, U.K. juin 1963.

International Seminar on Wind Effects on Buildings and Structures, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, septembre 1967.

Jensen, M. and Frank, N., **Model Scale Tests in Turbulent Wind, Part II**, Danish Technical Press, Copenhagen 1965.

Lacy, R.E., **Driving rain maps and the onslaught of rain on buildings**, Building Research Station, Ministry of Technology, Gartson, U.K., 1965.

Leutheusser, H.J., **The effects of wall parapets on the roof pressure coefficients of block type and cylindrical structures**, University of Toronto, Department of Mechanical Engineering, avril 1964.

MacDonald, A.J., **Wind loading on buildings**, Applied Science Publishers Ltd. London 1975.

Penwarden, A.D. and Wise, A.F.E., **Wind Environment Around Buildings**, Building Research Establishment Report, Department of the Environment, HMSO, 1975.

Robinson, G. and Baker, M.C., **Wind–driven rain on buildings**, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, juillet 1975, (CNRC 14692).

Rodgers, G.G., Poots, G., Page, J.K. and Pickering W.M., **Theoretical predictions of raindrop impaction on a slab type building**, Building Science, Vol.9, pp. 181–190, Pergamon Press, 1974.

Simiu, E. and Scanlan, R.H., **Wind Effects on Structures**, Wiley, New York 1978.

Van Straaten, J.F., **Thermal performance of buildings**, Applied Science Publishers, Barking, England, 1967.

Williams, G.P., **Annotated bibliography on snow drifting and its control**, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, 1974.

SUJET: FUITES D'AIR ET VENTILATION

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook 1976 Systems**, Atlanta, Chapter 21 and p. 41.8–41.10.

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook 1975 Equipment**, Atlanta, p. 26.6.

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook 1976 Systems**, Chapter 21.

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook 1978 Applications**, Atlanta, p. 12.7.

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook 1977 Fundamentals**, 1977, Atlanta.

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **Standard 62–81. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**, Atlanta.

Bahnfleth, D.R., Moseley, T.D. and Harris, W.S., **Measurement of Infiltration in two Residences**, Part I and Part II, American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Transactions, Vol. 63, 1957, p. 439–476.

Barrett, R.E. and Locklin, D.W., **Computer Analysis of Stack Effect in High Rise Buildings**, American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Transactions, Vol. 74, Part II, 1968, p. 155–169.

Coblenz, C.W. and Achenbach, P.R., **Design and Performance of a Portable Infiltration Meter**, American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Transactions, Vol. 63, 1957, p. 477–482.

Coblenz, C.W. and Achenbach, P.R., **Field Measurements of Air Infiltration in Ten Electrically Heated Houses**, American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Transactions, Vol. 69, 1963, p. 358–365.

Dick, J.B., **Measurement of Ventilation Using Tracer Gas Technique**, American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Journal Section, Heating, Piping and Air Conditioning, mai 1950, p. 131.

Jordan, R.C., Erickson, G.A. and Leonard, R.R., **Infiltration Measurement in Two Research Houses**, American Society of Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Transactions, Vol. 69, 1963, p. 344–350.

McGuire, J.H. and Tamura, G.T, **Le contrôle de la fumée dans les bâtiments en hauteur**, Digest de la construction au Canada No. 134F, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, février 1971.

Min, T.C., **Winter Infiltration through Swinging Door Entrances in Multi–Storey Buildings**, American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Transaction, Vol. 64, 1958, p. 421–446.

Peterson, J.E., **Estimating Air Infiltration into Houses**, American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Journal, janvier 1979, p. 6–60.

Sander, D.M., **Fortran IV Program to Calculate Air Infiltration in Buildings**, Conseil national de recherches du Canada, mai 1974.

Sasaki, J.R and Wilson, A.G., **Air Leakage Values for Residential Windows**, American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Transactions, Vol. 71, Part II, 1965, p. 81.

Sasaki, J.R. and Wilson, A.G., **Fuites d'air autour des fenêtres**, Digest de la construction au Canada No. 25F, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, janvier, 1962.

Shaw, C.Y., **A Method for Predicting Air Infiltration Rates for a Tall Building Surrounded by Lower Structures of Uniform Height**, Presented at the American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Semi–annual Meeting, Philadephie, février 1979.

Shaw, C.Y. and Tamura, G.T., **The Calculation of Air Infiltration Rates Caused by Wind and Stack Action for Tall Buildings**, ASHRAE Transactions 1977, Vol. 3. Part II.

Shaw, C.Y., Sander, D.M. and Tamura, G.T., **Air Leakage Measurements of the Exterior Walls of Tall Buildings**, American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Transactions, Vol. 79, part II, 1973, p. 40–48.

Tamura, G.T., **Computer Analysis of Smoke Movement in Tall Buildings**, ASHRAE Transactions, Vol. 75, Part II, 1969, p. 81.

Tamura, G.T., **Measurement of Air Leakage Characteristics of House Enclosures**, American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Transactions, Vol. 81, Part I, 1975, p. 202–211.

Tamura, G.T., **The Calculation of House Infiltration Rates**, Paper presented at the American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Semi–annual Meeting, Philadelphie, janvier 28, 1979.

Tamura, G.T. and Shaw, G.T., **Studies on Exterior Wall Air Tightness and Air Infiltration of Tall Buildings**, ASHRAE Transactions, Vol. 82, Part I, 1976, 122–134.

Tamura, G.T. and Wilson, A.G., **Air Leakage and Pressure Measurements in Two Occupied Houses**, American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Transactions, Vol. 70, 1964, p. 110–119.

Tamura, G.T. and Wilson, A.G., **Pressure Differences Caused by Chimney Effect in Three High Buildings, and, Building Pressures Caused by Action and Mechanical Ventilation**, American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Transactions, Vol. 73, Part II, 1967.

Tamura, G.T. and Wilson, A.G., **Pressure Differences for a Nine–storey Building as a Result of Chimney Effect and Ventilation System Operation**, American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Transactions, Vol. 72, Part I, 1966, p. 180–189.

Wilson, A.G., and Tamura, G.T., **Stack Effect and Building Design**, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, novembre 1968.

Wilson, A.G., **Influence of the House on Chimney Draft**, American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers Journal, Vol. 2, No. 12, décembre 1960, p. 63.

SUJET: EAU ET LES IMMEUBLES

American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook – 1978 Applications**, Atlanta.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook 1975 Equipment**, Chapter 5, Atlanta.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., **ASHRAE Handbook 1977 Fundamentals**, Chapters 19 and 20, Atlanta.

Babbit, J.D., **The Diffusion of Water Vapour through Various Building Materials**, Canadian Journal of Research, A, 17:15-32, 1939.

Baker, M.C., **La pourriture du bois**, Digest de la construction au Canada 111F, Conseil national de recherches du Canada, mars 1969.

Baker, M.C., **Conception des toitures de bois de manière à prévenir la pourriture**, Digest de la construction au Canada 112F, Conseil national de recherches du Canada, avril 1969.

Baker, M.C., **Évacuation des eaux pluviales des couvertures**, Digest de la construction au Canada 151F, Conseil national de recherches du Canada.

Baker, M.C., **Les couvres-joints pour toitures multicouches**, Digest de la construction au Canada 69F, Conseil national de recherches du Canada, septembre 1965.

Baker, M.C., **La glace sur les toits**, Digest de la construction au Canada 89F, Conseil national de recherches du Canada, mai 1967.

Baker, M.C., and Hedlin, C.P., **Toits à étanchéité multicouche protégée**, Digest de la construction au Canada 150F, Conseil national de recherches du Canada, juin 1972.

Baker, M.C. and Hedlin, C.P., **Ventilation des toitures-terasses**, Digest de la construction au Canada 176F, Conseil national de recherches du Canada, mai 1967.

Bishop, D., Webster C.D.J. and Herbert M.R.M., **The Performance of Drained Joints**, papier presenté au CIB Symposium on Weathertight Joints for Walls. Oslo, 1967.

Britton, R.R., **Condensation in Walls and Roofs**, Tech. Paper No. 8, Housing and Home Finance Agency, Washington, D.C., 1948.

Crocker, C.R., **Problèmes d'humidité et de chaleur dans les murs de sous-sol**, Digest de la construction au Canada Digest 161F, Conseil national de recherches du Canada, 1974.

Dickens, H.B and Hutcheon, N.B, **Moisture Accumulation in Roof Spaces Under Extreme Winter Conditions**, papier presenté à RILEM/CIB Symposium on Moisture Problems in Buildings, Helsinki, 1965.

Garden, G.K., **Comment rendre le vitrage durable et herméthique**, Digest de la construction au Canada 55F, Conseil national de recherches du Canada, juillet 1964.

Garden, G.K., **Pénétration de la pluie et moyens de l'empêcher**, Digest de la construction au Canada 40F, Conseil national de recherches du Canada, avril 1963.

Handegord, G.O., **Les coupe-vapeurs dans la construction des maisons d'habitation**, Digest de la construction au Canada 9F, Conseil national de recherches du Canada, septembre 1960.

Handegord, G.O. and Baker M.C., **Application des notions fondamentales pour la conception des toitures**, Digest de la construction au Canada 99F, Conseil national de recherches du Canada, mars 1968.

Hite, S.C. Dray, J.L., **Research in Home Humidity Control**, Purdue University, Research Series No. 106, novembre 1948.

Hutcheon, N.B., **L'humidification des bâtiments**, Digest de la construction au Canada 42F, Conseil national de recherches du Canada, juin 1963.

Isaken, T., **Driving Rain and Joints**, Norwegian Building Research Institute, Rapport 61, Oslo, 1972.

Isaksen, T., **Rain Leakage Tests in Open Joints in Ventilated Claddings**, papier présenté au CIB Symposium on Weathertight Joints for Walls, Oslo, septembre 1967.

Isaken, T., **Rain Leakage Tests on Joints**, papier présenté au CIB Symposiumon Weathertight Joints for Walls. Oslo, septembre 1967.

Isaken, T., **Rain Penetration in Joints Influence of Dimensions and Shape of Joints on Rain Penetration**, papier présenté à RILEM/CIB Symposium on Moisture Problems in Buildings. Helsinki, 1965.

Joy, F.A., Queer, E.R. Schreiner R.E., **Water Vapour Transfer through Building Materials**, Bulletin 61, Pennsylvania State College, 1948.

Kent, A.D., Handegord, G.O. and Robson, D.R., **A Study of Humidity Variations in Canadian Houses**, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Transactions, Vol. 72, Part II, p. II.1.1, 1966.

Latta, J.K., **Les pare-vapeur: que sont-ils? Sont-ils efficaces?** Digest de la construction au Canada, 175F, Conseil national des recherches du Canada, mars 1967.

Latta, J.K., **Walls, Windows and Roofs for the Canadian Climate**, Conseil national de recherches du Canada, CNRC 13487, Ottawa, octobre 1973.

National Bureau of Standards, **Moisture Condensation in Wall and Roofs**, National Bureau of Standards, Washington, BMS 63, 1940.

Organisation de normalisation générale du Canada, **Insulating Glass Units**, Standard 12-GP-8M. Ottawa 1975.

Organisation de normalisation générale du Canada, **Pare-vapeur, en feuille, pour bâtiment**, CAN/ONGC-51.33-M80, Ottawa 1980.

Organisation de normalisation générale du Canada, **Windows, Extruded Aluminum, Vertical and Horizontal Sliding, Standard Duty**, ONGC 63-GP-3M, Ottawa, décembre 1976.

Orr, H.W., **Condensation in Electrically Heated Houses**, papier présenté au 2 ième International Symposium on Moisture Problems in Building. septembre 1974, Rotterdam.

Platts, R.E., **Condensation Control in Stressed-Skin and Sandwich Panels**, Forest Products Journal, Vol. XII, No. 9, septembre 1962, p. 429-430.

Rain Penetration Investigations, papier présenté au CIB Symposium on Weathertight Joints for Walls, Oslo, 1967. CIB Report No. 1, 1963. Publié aussi comme Report No. 36, Norwegian Building Research Institute, Oslo, 1963.

Robinson, G., and Baker, M.C., **Wind-Driven Rain and Buildings**, Conseil de recherches du Canada, CNRC 14792, Ottawa, juillet 1975.

Rodgers, G.G., Poots, G., Page, J.K. and Pickering, W.M., **Theoretical Predictions of Raindrop Impaction on a Slab-Type Building**, Building Science. Vol. 9. p. 181-190. Pergamon Press, 1974.

Rowley, F.B., Algren, A.B. and Lund, C.E., **Condensation within Walls**, ASHRAE Transactions, Vol. 44, 1938, p. 95-130.

Sasaki, J.R., **Measurement of Thermal Break Potential of Solar-Control Sealed Glazing Units**, Specifications Associate, Vol. 16, No. 3, mai/juin 1974, p. 11.

Sasaki, J.R., **Condensation Performance of Metal-Framed Double Windows with and without Thermal Breaks**, Specifications Associate, Vol. 13, No. 1, janvier/février 1971, p. 25-31.

Sasaki, J.R., **Effect of Indoor Shading and Heater Configurations on the Surface Temperature Performance of a Sealed, Double-Glazed Window**, Specifications Associate, Vol. 15, No. 3, mai/juin 1973, p. 12.

Solvason, K.R. and Wilson, A.G., **Fenêtres à doubles-vitres scellées à l'usine**, Digest de la construction au Canada 46F, Conseil national de recherches du Canada, octobre 1963.

Tamura, G.T., Kuester G.H. and Handegord G.O, **Condensation Problems in Flat Wood-Frame Roofs**, papier présenté au 2ième International CIB/RILEM Symposium on Moisture Problems in Buildings, septembre, 1974, Rotterdam.

Teesdale, L.V., **Condensation in Walls and Attics**, Journal Royal Architectural Institute of Canada. août 1938, p. 185-188.

Thomas, M.K., **Climatological Atlas of Canada**, Conseil national de recherches du Canada, 1953, 253 p.

Turenne, R.G., **Les joints dans les couvertures bitumineuses classiques**, Digest de la Construction du Canada 202F, Conseil national de la recherches du Canada, janvier 1979.

Turenne, R.G., **Rétrécissement des membranes bitumineuses**, Digest de la construction au Canada No. 181F, Conseil national de recherches du Canada, juillet 1976.

Williams, G.P., **Le drainage autour des bâtiments**, Digest de la construction au Canada 156F, Conseil national de recherches du Canada, 1972.

Wilson, A.G., **Fuites d'air dans les bâtiments**, Digest de la construction au Canada 23F, Conseil national de recherches du Canada, novembre 1961.

Wilson, A.G., **Condensation entre les vitres des doubles-fenêtres**, Digest de la construction du Canada 5F, Conseil national de recherches du Canada, mai 1960.

Wilson, A.G., and Brown, W., **Caractéristiques thermiques des fenêtres à contre-châsis**, Digest de la construction du Canada 58F, Conseil national de recherches du Canada, octobre 1964.

5.4 LISTE DES DOCUMENTS ÉVALUANT LE RENDEMENT DES IMMEUBLES

Dans cette série, les documents sont subdivisés en quatre classes différentes. Les documents de classe A donnent des explications à savoir comment utiliser les documents des trois autres classes. La classe B est un répertoire d'essais lequel inclut un index et des références. Les documents de classe C donnent un compte rendu des trois domaines d'évaluation et résume les documents de classe D dans leur domaine respectif. Les documents de classe D contiennent une description des attributs du rendement des immeubles et donnent les méthodes pour les évaluer.

	A1	Guide du directeur de projet
	A2	Guide du gérant d'immeuble
	B1	Répertoire d'essais
Relevés	C1	Rendement énergétique et environnemental
	C2	Rendement fonctionnel
	C3	Rendement des systèmes et du matériel
Rendement énergétique et environnemental	D01	Évaluation des polluants
	D02	Migration de la pollution
	D03	Évaluation de l'ambiance thermique
	D04	Évaluation globale: rendement énergétique
	D05	Évaluation des secteurs de consommation: rendement énergétique
	D06	Évaluation des installations et systèmes: rendement énergétique
	D07	Évaluation des améliorations: rendement énergétique
	D08	Évaluation de l'environnement acoustique
	D09	Évaluation de la circulation d'air
	D10	Évaluation de l'éclairage
	D11	Relevé des données atmosphériques
Rendement fonctionnel	D20	Analyse des documents et archives
	D21	Annotation des plans
	D22	Entrevues centrées
	D23	Questionnaires
	D24	Observations
Rendement des systèmes et du matériel	D30	Murs et colonnes structuraux: relevé de la condition
	D31	Dalles et toits structuraux: relevé de la condition
	D32	Garages de stationnement: relevé de la condition
	D33	Évaluation des installations mécaniques
	D34	Évaluation des contrôles mécaniques
	D35	Évaluation des systèmes électriques
	D36	Contrôle de la pression et de l'étanchéité à l'air
	D37	Mesure de la vitesse d'échange d'air extérieur
	D38	Inspections par thermographie de l'enceinte d'un immeuble
	D39	Mesure de la résistance thermique
	D40	Inspections de la teneur en humidité
	D41	Évaluation des systèmes de couvertures